

**Vysoká škola báňská-Technická univerzita  
Ostrava**

Hornicko-geologická fakulta  
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

**Preventivní inertizace v dolech OKR**  
**Flushing technology in the Ostrava-Karvina collieries**

**diplomová práce**

**Autor:**

Bc. Petr Zielinski

**Vedoucí diplomové práce:**

Prof. Ing. Alois Adamus, Ph.D.

**Ostrava 2014**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Zielinski**  
Studijní program: N2111 Hornictví  
Studijní obor: Z101T008 Hornické inženýrství  
Téma: Preventivní inertizace v dolech OKR  
Flushing technology in the Ostrava-Karvina collieries

Zásady pro vypracování:

Úvod

1. Vývoj inertizace v hornictví
2. Analýza vybraných případů inertizace v OKR
4. Technické prostředky inertizace
5. Aerodynamika a inertizace závalových prostor
6. Ekonomické zhodnocení

Závěr

Rozsah práce: 30 – 35 stran textu, 5 – 10 grafických příloh

Seznam doporučené odborné literatury:

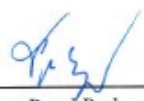
- MAKÁRIUS, R.: *Inertizace při důlních požárech*. SNTL, Praha 1993, ISBN 80-03-00695-3.  
ADAMUS, A.: *Dusík v roce 1949 poprvé v historii hornictví*. Záchranář 3. čtvrtletí 2009.  
ADAMUS, A., PAVELEK, Z.: *Dusík po šedesáti letech*. Záchranář 4. čtvrtletí 2009,  
ADAMUS, A.: *Mezní koncentrace kyslíku samovznícení uhlí*. Záchranář, 1994, č. 4.  
ADAMUS, A.: *Koncentrace O<sub>2</sub> v závalovém prostoru stěnového porubu*. Záchranář, 1994, č. 5.  
ADAMUS, A.: *Kolik N<sub>2</sub> do závalu*. Záchranář, 1994, č. 6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Alois Adamus, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014

  
prof. Ing. Pavel Prokop, CSc.  
vedoucí institutu



  
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

## ***Prohlášení***

- *Celou diplomovou práci včetně příloh jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.*
- *Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.*
- *Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).*
- *Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*
- *Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0. Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>*
- *Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*
- *Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

*V Ostravě dne 20. 4. 2014*

*Bc. Petr Zielinski*

## **Anotace:**

Předložená práce je zaměřena na problematiku preventivní inertizace závalových prostor stěnových porubu a dlouhých ražených děl plyným dusíkem. Je zde popsán historický vývoj inertizace v Českém i zahraničním hornictví včetně možností plynů použitelných k inertizaci a jejich klady a zápory. Autor diplomové práce přibližuje základní použití plyného dusíku na daných případech k preventivní inertizaci, inertizaci k potlačení samovznícení a represivní inertizaci. Další část se zabývá technickými prostředky pro výrobu plyného dusíku, možnostmi jeho transportu k požářišti, regulační a měřicí technikou a následně prostředky pro inertizaci při ražbě důlních děl, dobývání porubů a jejich likvidaci. Je zde popsána aerodynamika a propustnost závalových prostor, inertizace závalových prostor s možností využití výpočetního programu CFD (Computational Fluid Dynamic) FLUENT 6.0. Následně je zhodnocená ekonomická stránka těžby bez a s preventivní inertizací, rostoucí trend spotřeby plyného dusíku a zvyšující se nároky na spotřebu plyného dusíku a tím i finanční zatížení na vytěženou tunu uhlí.

**Klíčová slova:** Inertizace, dusík, samovznícení

## **Summary:**

The present work is focused on application of nitrogen in a flushing technology used in gobs and galerie in deep mining. Here is described the historical development of inertization in Czech and international mining industry including options of gases which are applicable to gas inertization and their advantages and disadvantages. Author of the thesis describes basic application of nitrogen gas to the cases for preventive inertization, inertization for suppression of spontaneous combustion and repression of underground fires. The next part deals with the technical means for the production of nitrogen gas, its transportation to fires, control and measuring technology, and then deals with the means for inertization during driving of underground roads, operation of longwall faces and cloasing of underground spaces. Diploma work describes the aerodynamics and permeability of gobs and application of computer program CFD (Computational Fluid Dynamic ) FLUENT 6.0. The efficacy of economy of the nitrogen technology is assessed based on a calculation without application of nitrogen and with application of this technology. The growing trend in consumption of nitrogen gas and the increasing demands on the consumption of gaseous nitrogen is assessed.

**Keawords:** Inertization, nitrogen, spontaneous combustion

## Obsah:

1.	ÚVOD .....	1
2.	VÝVOJ INERTIZACE V HORNICTVÍ .....	2
2.1.	První použití inertních plynů .....	2
2.2.	Pojem inertizace a jeho provedení .....	2
2.2.1.	Inertizace oxidem uhličitým (CO <sub>2</sub> ) .....	3
2.2.2.	Inertizace dusíkem (N <sub>2</sub> ) .....	4
2.2.3.	Paroplynová inertizace .....	4
2.3.	Vývoj inertizace v českém hornictví .....	4
3.	ANALÝZA VYBRANÝCH PŘÍPADŮ INERTIZACE V OKR .....	11
3.1.	Preventivní inertizace v porubu 138 202 závodu Lazy .....	11
3.2.	Inertizace k potlačení záparů v porubu 13 901 závodu ČSA .....	14
3.3.	Represivní inertizace v porubu 18 419-1 dolu Dukla .....	15
3.4.	Účinnosti inertizace .....	19
4.	TECHNICKÉ PROSTŘEDKY INERTIZACE .....	21
4.1.	Technické prostředky výroby inertních plynů .....	21
4.2.	Technické prostředky pro transport dusíku .....	21
4.3.	Technické prostředky pro regulaci a měření dusíku v dole .....	21
4.3.1.	Centrické clony .....	21
4.3.2.	Turbínové plynoměry .....	22
4.3.3.	Vírové průtokoměry .....	23
4.4.	Inertizace při ražbách .....	24
4.4.1.	Technické prostředky inertizace při ražbách .....	24
4.5.	Inertizace při dobývání .....	26
4.5.1.	Technické prostředky inertizace dobývání .....	26
4.5.2.	Generátor dusíkové pěny One Seven® MINING 6000 .....	27
4.6.	Inertizace při likvidaci porubů .....	30
4.7.	Inertizace uzavřených porubů .....	31
5.	AERODYNAMIKA A INERTIZACE ZÁVALOVÝCH PROSTOR .....	33
5.1.	Propustnost závalového prostoru stěnového porubu .....	33
5.2.	Inertizace závalových prostor porubů .....	34
5.2.1.	Zásady optimalizace preventivní inertizace .....	36
5.2.2.	Možnosti inovace inertizace závalů .....	37
6.	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	38
6.1.	Ekonomické zhodnocení preventivní inertizace .....	39
6.2.	Ekonomické zhodnocení výroby dusíku .....	39
7.	Závěr .....	41

## **Seznam použitých zkratek:**

ČBÚ	Český báňský úřad
DPL	Důlní plynová laboratoř
HBZS	Hlavní báňská záchranná stanice
OBÚ	Obvodní báňský úřad
OKD	Ostravsko - karvinské doly
OKR	Ostravsko - karvinský revír
VLH	Vedoucí likvidace havárie
VZS	Velitel záchranných sborů
ZBZS	Závodní báňská záchranná stanice
CDH	Centrální dusíkové hospodářství
PNZ	Plánovaný nehavarijní zásah
PVP	Průchozí větrný proud
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
POP 2010	Program optimalizace produkce 2010

## 1. Úvod

Při dobývání uhlí dochází k jeho oxidaci a výskytu s tím spojených nebezpečných plynů. I přes neustále se rozvíjející monitoring a snahu o vydobytí stěnových porubů bez ponechání uhelné hmoty za postupujícím porubem a snahu o ražby chodeb v uhlí s náchylnosti k samovznícení bez více výlomů nad obrysem chodeb, nelze zcela vyloučit vznik havarijního stavu způsobeného samovznícením. Pokud k tomuto stavu dojde je naší hlavní povinností zabránit fatálním následkům jež by mohly vzniknout nekontrolovaným hořením uhelné hmoty např. v nevětraných prostorech závalu porubu, což by mohlo mít za následek iniciaci zapálení výbušné směsi.

Důlní požáry, výbuchy plynů a uhelného prachu vzniklé nekontrolovaným hořením v závalových prostorech patřily a patří k nejzávažnějším důlním nehodám. Dne 18. října 1990 došlo na dole 1. Máj v Karvině v oblasti 5. dobývací kry k výbuchu, při kterém zahynulo 30 horníků, 2 byli těžce zranění. Jednou z možných příčin této mimořádné události mohlo být zapálení výbušné směsi obnaženým ohniskem záparu. [1]

Diplomová práce se zabývá inertizací v českém i zahraničním hornictví, technickými prostředky inertizace, tak jak se postupně vyvíjely a vyvíjejí na základě zkušeností a poznatků důlních techniků a na základě vyšetřování následků mimořádných událostí. Uvedu vybrané případy inertizace v OKR, dále se pokusím popsat zejména aerodynamiku a inertizaci závalových prostor. Na závěr zhodnotím ekonomickou stránku těžby bez použití inertizace a s použitím preventivní inertizace.

Na základě získaných poznatků navrhu v mé práci možnosti inovace dotěsnění závalových prostor a následné možnosti inertizace a kontinuální měření plynů v prostorech závalu stěnového porubu. Okamžitá kontrola složení ovzduší při likvidaci důlních požárů s možností včasného posouzení účinnosti inertizace a nebezpečí výbuchu by mohla výrazně snížit riziko vzniku mimořádné události, tím zkvalitnit rozhodování vedoucího likvidace havárie (VLH) a velitele báňských záchranných sborů (VZS). S tím souvisí případné včasné odvolání osob z ohrožené oblasti, případně přijetí jiných opatření, která sníží možnost vzniku mimořádné události. Průběžný monitoring složení ovzduší a získávání údajů o fyzikálních veličinách (rychlost větrů, množství větrů, teplota a relativní vlhkost) souvisejících s důlním ovzduším v průběhu likvidace důlního požárů umožní získat lepší přehled o vývoji požáru a posouzení jeho úrovně v návaznosti na navržená opatření vedoucí likvidace havárie k regulaci větrání, popřípadě změny inertizace, zejména plynným dusíkem tak, aby bylo možno neustále kontrolovat stav výbušnosti požárních plynů.

Na základě vyhodnocení současného monitorování složení důlního ovzduší, měření jeho ostatních parametrů (rychlost proudění větrů, teplota, relativní vlhkost) a za pomoci programu „Výbuchový trojúhelník“ [2], s možností posouzení inertizace plynným dusíkem, které určí, zda kapacita dusíkového hospodářství je dostačující, posoudím použití nejvhodnějších technických prostředků inertizace.

## **2. Vývoj inertizace v hornictví**

### **2.1. První použití inertních plynů**

První zmínka případu inertizace důlní atmosféry popisuje hašení důlního požáru v padesátých letech 19. století na dole Clackmanan ve Skotsku, 7 mil od Stirlingu. K inertizaci byla použita směs vodní páry, oxidu uhličitého, dusíku a oxidu siřičitého, generovaná ve spalovací peci za pomoci vodního ejektoru. Inertizace trvala více než tři týdny a požár byl po měsíci uhašen. Další vybrané případy inertizace před rokem 1900 byly popsány v literatuře Morris (1987) a Walters (1997), uvedeno v [3].

Čistý dusík byl pro hašení důlního požáru v hornictví poprvé použit v roce 1949 na Dole Doubrava v OKR. Další státy, které začaly využívat dusík v boji proti požárům byly Velká Británie v květnu roku 1953 na Dole Roslin, dále následovaly státy Slovensko, Rusko, Německo, Francie, Polsko, Rumunsko, Čína, Kanada, Bulharsko, Indie, Austrálie, JAR, USA a další země s vyspělým uheným hornictvím. [3]

### **2.2. Pojem inertizace a jeho provedení**

Základní principy inertizace důlních požárů jsou poměrně staré, již z přelomu 19. století. Cílem inertizace vždy bylo a je přivedení inertní směsi plynů do požářiště, jež má za následek snížení obsahu kyslíku, čímž dojde k omezení hoření nebo úplnému uhašení a tím vyloučení výbuchu požárních plynů. Problémem při použití inertizace v minulosti bylo zajištění dostatečného množství inertního plynu. V současnosti pak při intenzivní inertizaci nutno řešit bezpečnost pracovníků s ohledem na pokles kyslíku v pracovním prostředí.[4]

Hlavní výhodou inertizace v případech otevřených požárů je především snížení nebezpečí výbuchu požárních plynů, snížení teploty požářiště a tlumení ohniska požárů. Jedním ze způsobu inertizace byla inertizace s využitím paroplynové směsi. Byla to směs dusíku ( $N_2$ ), oxidu uhličitého ( $CO_2$ ), vodní páry a plynných příměsí s nízkým obsahem kyslíku (do 1%), která vznikala spalováním pohonných hmot v generátorech inertního plynu. V SSSR byly vyvinuty paroplynové generátory řady GIG 4 a 1500 obr.č. 1, které umožnily výrobu inertní směsi přímo v dole.[4]



**Obrázek 1:** Paroplynový generátor řady GIG (foto HBZS)



Inertizace je používána také jako prostředek prevence samovznícení ve slojích náchylných k samovznícení při směrném stěnování a ražení dlouhých důlních děl (injektáž dusíku do závalu nebo za ochrannou manžetu). Postupem času se začala preventivní inertizace závalu používat systematicky v kombinaci s izolací závalu chemickou nebo plynomechanickou pěnou.[4]

### **2.2.1. Inertizace oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>)**

V minulosti byla oxidem uhličitým likvidována řada havárií, přičemž bylo v některých případech využito pevného CO<sub>2</sub>, častěji kapalného CO<sub>2</sub> v tlakových láhvích a v četných případech bylo úspěšně použito kapalného CO<sub>2</sub> vypouštěného z mobilních cisteren umístěných na povrchu.

Na základě těchto známých případů inertizace oxidem uhličitým můžeme konstatovat pozitivní a negativní přínosy:

#### **Pozitiva:**

- Zkrácení nutné doby pro otvírku požářiště a snížení rizikovosti otvirkových prací z hlediska možnosti obnovení požáru.
- Značné snížení teplot v uzavřeném prostoru požářiště.
- Rychlejší likvidace škod a následků důlních požárů a omezení těžebních ztrát na minimum.
- Možnost účinného tlumení požáru v úpadním důlním díle.

#### **Negativa:**

- Není vyloučená možnost redukce CO<sub>2</sub> na CO vlivem vysokých teplot v požářišti.
- Nedostatečná kapacita inertizace a špatná, nebo vůbec žádná možnost regulace množství.
- Obtížná manipulace s tlakovými láhvemi CO<sub>2</sub>, snadné zamrzání potrubí a značný počet zaměstnanců při dopravě a obsluze.
- Použití suchého ledu k ochlazování požářiště mělo pro malou sublimaci nízkou účinnost.
- Nepříznivé fyziologické pocity pracujících záchrannářských sborů, zvláště při vysokých teplotách a vysoké relativní vlhkosti.
- Nedá se použít vzhledem ke své specifické hmotnosti k likvidaci zápar a požárů v dovrchních důlních dílech.

Přes veškerou snahu se metoda používání oxidu uhličitého k inertizaci v hlubinných dolech nerozšířila a nenalezla širší uplatnění.[4]

### 2.2.2. Inertizace dusíkem ( $N_2$ )

Dusík má pro potřeby inertizace důlních požářišť velmi vhodné fyzikální a chemické vlastnosti. Není plynem toxickým, nepodporuje hoření, tlumí požár vytěšňováním kyslíku v ovzduší a snižuje výbušnost nahromaděných požárních plynů. Při inertizaci požářiště nevstupuje do žádné chemické reakce a nevytváří jedovaté dusíkaté sloučeniny. Dusík určený k inertizaci je možné použít v plynném nebo kapalném skupenství.[4]

#### **Napouštění dusíku do požářiště lze uskutečnit:**

- Pomocí kontejnerů, kterými se kapalný dusík dopravuje až k místu vypouštění v dole.
- Vypouštěním na povrchu dolu z cisterny přes odpařovače přímo do potrubí, dále potrubím v jámě a v důlních dílech do požářiště.
- Napojením na jednotku uhlíkových molekulových sít, polymerových membrán nebo rozvod centrálního dusíkového hospodářství (CDH) na potrubí, potrubím v jámě a v důlních dílech do požářiště.

Pozitivní inertizační účinky dusíku se mohou stát i negativem, a to v případě netěsností potrubí při vypouštění do požářiště, kdy může dojít v místě úniku k vytlačení kyslíku a vytvoření nedýchatelného ovzduší, které by se mohlo stát nebezpečné pro důlní pracovníky. Další nevýhodou je nízký chladicí účinek.[4]

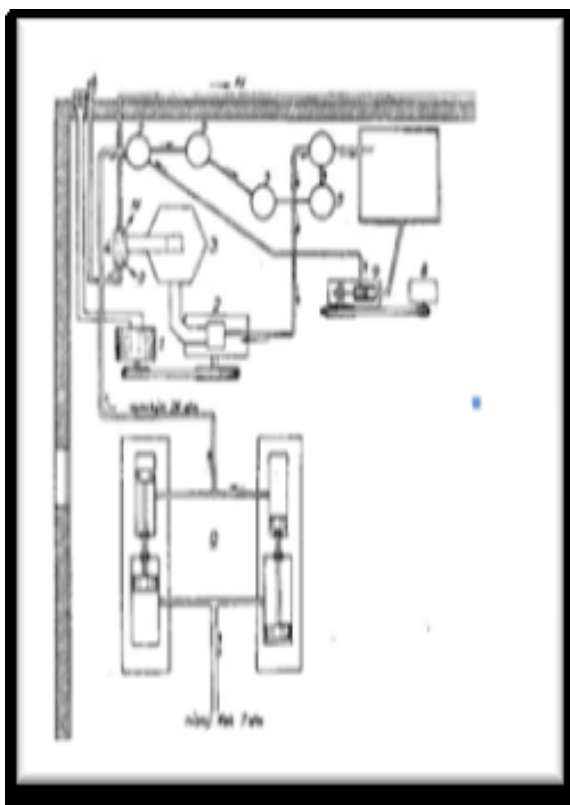
### 2.2.3. Paroplynová inertizace

Paroplynový generátor typ GIG 4 a 1500 byl vyvinut v bývalém SSSR. Využívá spalování pohonných hmot v generátoru, při kterém vzniká inertizační plynná směs. Generátor je možno použít ve fázi uzavírání požářiště a to tak, že se lutny vyvedou za hráz, umístěnou na vtažné straně požářiště, jehož ovzduší se vháněním plynné směsi postupně inertizuje. Stavba hráze na výdušné straně se zahájí, až když pomine nebezpečí výbuchu, dojde na výdušné chodbě ke snížení teploty a zlepšení viditelnosti. Množství paroplynové směsi, kterou je možno získat parogenerátorem typu GIG (např. GIG 4 -  $340 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ ), nemusí být vždy k rozsáhlé inertizaci dostačující. Kromě toho je nasazení parogenerátoru spojeno s náročnou dopravou a dodávkou pohonných hmot. Toto zařízení bylo ve výbavě HBZS a bylo používáno v rámci OKR s možností nasazení v kterémkoliv hlubinném dole České republiky. V dnešní době se toto zařízení v OKR již k inertizaci nepoužívá.[4]

## 2.3. Vývoj inertizace v českém hornictví

Návrh k prvnímu použití dusíku k inertizaci požáru ve sloji Hubert na Dole Doubrava v OKR podal tehdejší ředitel Ing. Artur Kanczucký. Bylo navrženo využití českého patentu inertizace dusíkem, registrovaného v roce 1946 panem ing. Waldem

z Moravských dusíkáren v Ostravě-Mariánských horách. Pro tento účel byla z Moravských dusíkáren přemístěna na Důl Doubrava kryogenní dusíková výrobní jednotka Claude obr.č. 2. Dusíková jednotka byla umístěna na povrchu dolu v kompresorovně a byla poháněna stlačeným vzduchem o hodnotě tlaku 2,5 - 3,0 MPa. Plynný dusík byl injektován přes vrtné soutyčí o průměru 100 mm v jámě a byl vypouštěn v hloubce 540 m pod povrchem. K inertizaci bylo použito celkem 5,056644 mil.m<sup>3</sup> plynného dusíku o čistotě 99,5 % a inertizace trvala od 8. srpna 1949 do 12. září 1950. Průměrný denní objemový průtok dusíku dosahoval 16 - 17 tisíc krychlových metrů, což odpovídá objemovému průtoku cca 10 - 11 m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>. Teplota injektovaného dusíku byla + 9 °C.[3]



**Obrázek 2:** Schéma zařízení pro výrobu dusíku z roku 1949, [3]

Na popud báňské záchranné stanice v Ostravě, po zkušenostech z prvního použití plynného dusíku pro hašení důlního požáru byly v roce 1957 vyrobeny a dodány tři bateriové vleky s tlakovými lahvemi o kapacitě 630 m<sup>3</sup> plynného dusíku na jeden vlek obr.č. 3. Následně byly používány bateriové návěsy o kapacitě 945 m<sup>3</sup>. Tento dusík přepravovaný tlakovými lahvemi byl především používán při inertizaci propustových komor a při represivních zásazích.[3]

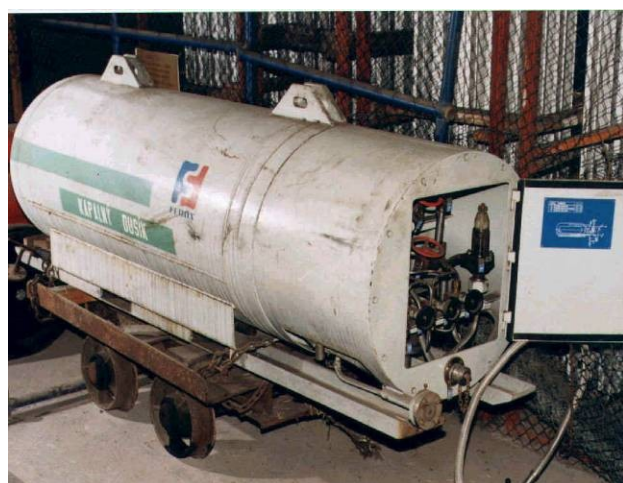
Dalším krokem ve vývoji inertizace v OKR bylo použití kapalného dusíku, který se začal v OKR používat začátkem osmdesátých let. K tomuto účelu byly zakoupeny ruské kontejnery na přepravu kapalného dusíku typu CTK o objemu 2,5, 5,0 a 8,0 m<sup>3</sup> obr.č. 4. Ležaté přepravní kontejnery o objemu 500 a 1 000 l, výrobky Feroxu Děčín, byly používány pro operativní přepravu kapalného dusíku do dolu obr.č. 5.[3]



**Obrázek 3:** Vlek s tlakovými lahvemi o kapacitě 630 m<sup>3</sup> plynného dusíku (foto autor)



**Obrázek 4:** Kontejnery na přepravu kapalného dusíku CTK o objemu 2.5, 5.0 a 8.0 m<sup>3</sup> (foto autor)



**Obrázek 5:** Ležatý přepravní kontejner pro operativní přepravu kapalného dusíku do dolu (foto Adamus)

V roce 1984 proběhl další krok ve vývoji inertizace, když byl vyroben výkonný mobilní odpařovač kapalného dusíku pro Hlavní báňskou záchrannou stanici v Mostu v Severočeském hnědouhelném revíru, typ MOD 200 obr.č. 6, který sloužil k hašení důlních požárů objemovým průtokem plynného dusíku  $200 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ . Dopravu kapalného dusíku pro odpařovač zajišťovala mobilní cisterna TN 15, výrobek Feroxu Děčín, o objemu  $15 \text{ m}^3$  kapalného dusíku. Následovala výroba dalších dvou odpařovačů MOD 200 pro Kladenský revír a Hornonitranské baně na Slovensku.[3]



**Obrázek 6:** Výkonný mobilní odpařovač kapalného dusíku typ MOD 200 a mobilní cisterna TN 15 (foto Adamus)

Dalším významným rokem ve vývoji inertizace v české republice se stal rok 1988, kdy bylo rozhodnuto o výstavbě stacionárních odpařovacích stanic v OKR obr.č. 7. Byly vybudovány čtyři odpařovací stanice v Ostravsko-karvinském revíru, tři v Severočeském hnědouhelném revíru a dvě v Kladenském revíru. Tyto odpařovací stanice byly vybaveny stacionárním zásobníkem kapalného dusíku o objemu 15 až  $20 \text{ m}^3$  a vzduchovými odpařovači o výkonu 15 -  $20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  plynného dusíku. Tyto odpařovací stanice byly využívány především k preventivní inertizaci endogenních požárů.

Stále se zvyšující spotřeba dusíku k inertizaci přiměla vedení OKD v roce 1989 k zakoupení jednotky uhlíkových molekulových sít obr.č. 8, systém PSA, typ CMS 600 s výkonem  $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  plynného dusíku, které byly nasazeny na dole Barbora. Po uzavření dolu Barbora v roce 2005 byly tyto uhlíkové molekulové síta nainstalovány na důl Darkov závod Darkov 3. Další jednotka molekulových sít, typ CMS 900 obr.č. 9, s výkonem  $15 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  plynného dusíku, byla pořízena pro potřeby Dolu ČSM Jih ve Stonavě.[3]





**Obrázek 7:** Odpařovací stanice (foto Adamus)



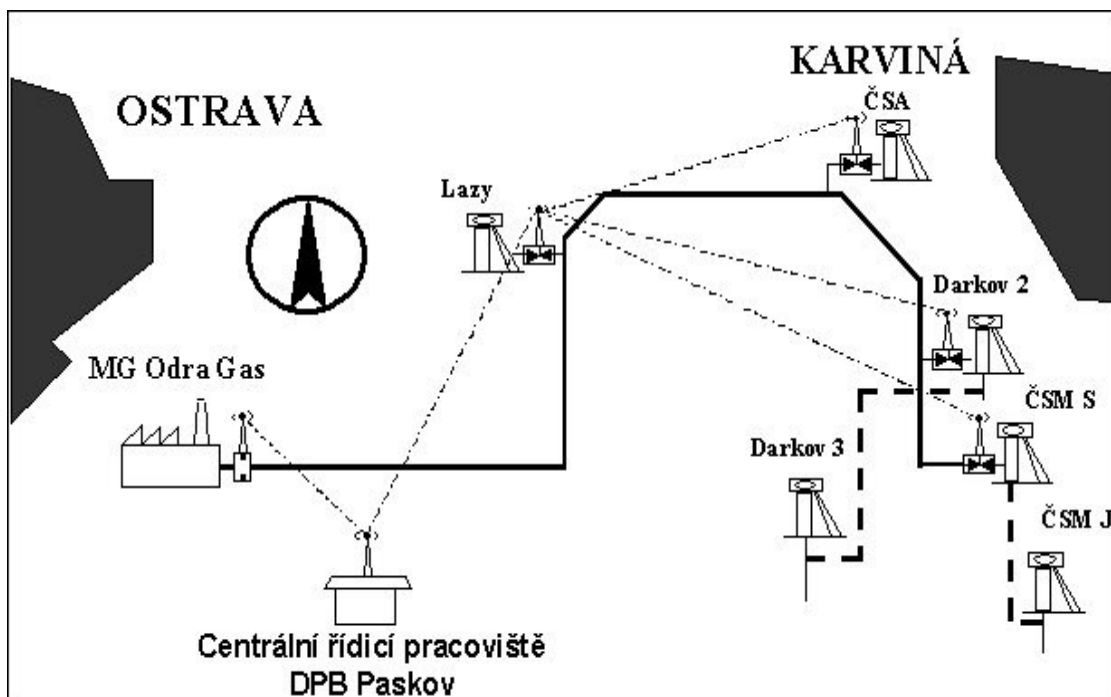
**Obrázek 8:** Jednotka uhlíkových molekulových sít, systém PSA, typ CMS 600 (foto autor)



**Obrázek 9:** Jednotka uhlíkových molekulových sít PSA, typ CMS 900 (foto autor)

Stále se zvyšující spotřeba plynného dusíku v OKR při těžbě sedlových slojí v lávkách, které jsou vysoce náchylné k samovznícení vedla k vybudování centrálního dusíkového hospodářství OKR (CDH) obr.č. 10. Zdrojem plynného dusíku, který je odpadní surovinou při výrobě kyslíku v kyslíkárně v huti Arcelor Mittal Ostrava, a.s. (výrobce dusíku MG Odra Gas, s.r.o.), byla pokryta většina spotřeby dusíku v OKR. Celková délka potrubního řádu CDH je 31,5 km a z toho 13,5 km prvního úseku od výrobce dusíku k tehdejšímu Dolu Dukla v Havířově. Hlavní tah je veden v potrubí o průměru 300 mm a následné odbočky daných dolů mají průměr potrubí 200 mm. Důl Darkov 3 a ČSM Jih jsou připojeny v podzemí, dále viz příloha č. 1. Hlavní dusíkový tah je veden současně s tahem potrubí pro dodávku metanu do hutí. Provoz CDH byl zahájen dne 1. března 1993. V současné době je schopen dodávat cca  $11\,300\text{ m}^3\text{hod}^{-1}$  pro preventivní účely inertizace a v případě havárie a nutnosti represivní inertizace je možno navýšit tyto hodnoty na  $18000\text{ m}^3\text{hod}^{-1}$  pomocí dvou jednotek polymerových membrán a zásobníku kapalného dusíku o objemu  $500\text{ m}^3$  obr.č. 11.[3]

OKD používá v dnešní době čtyři zdroje dusíku a to dusík z molekulových sít, polymerových membrán, dusík z CDH a ve výjimečných případech kapalný dusík.[3]



**Obrázek 10:** Schéma Centrálního dusíkového hospodářství OKR [3]



**Obrázek 11:** Zásobníky kapalného dusíku o objemu 500 m<sup>3</sup> (foto autor)





**Hlavní parametry porubu 138 202**

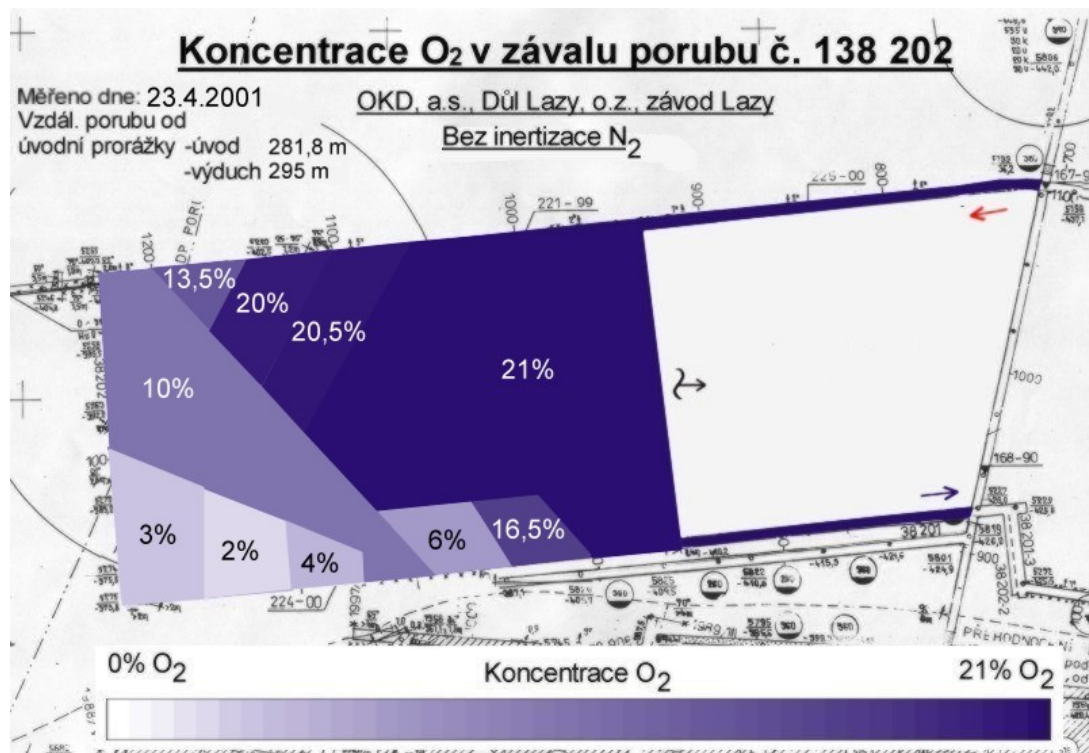
Výztuž:	Meos 26/56-L (rozsah 2,6 – 5,6 m)	
Kombajn:	KGE 800RW/2BP/00	
Délka porubu:	170	[m]
Směrná délka:	980	[m]
Úklon sloje	7 - 10	[°]
Mocnost sloje dobývaná:	3,5 – 5,6	[m]
Těžba v době experimentu:	3 800	[t.d <sup>-1</sup> ]
Porubní plynodajnost prognózovaná:	7 973	[m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> .d <sup>-1</sup> ]
Obj. průtok větrů přiváděný do porubu:	1 580	[m <sup>3</sup> .min. <sup>-1</sup> ]

V průběhu těžby, která započala v srpnu 2000 a byla ukončena v květnu 2001, byly pravidelně odebírány suché vzorky z odběrových sond každých 50 metrů. Současně byly měřeny hodnoty koncentrace kyslíku v závalových prostorách (pomocí paramagnetického kyslíkoměru) a parametry důlního větrání porubu. Z prvních výsledků rozborů závalové atmosféry v průběhu postupu porubu, cca 100 metrů od výchozí prorážky se prokázala přirozená inertizace, která se projevila na sondě č. 1. poklesem koncentrace kyslíku k hodnotě 0 %. Sonda č. 2 vykazovala koncentraci kyslíku blízkou 3 %. V polovině května 2001 dosáhl porub požadovaného 350 metrového postupu od výchozí prorážky, kdy měl začít samotný experiment inertizace závalu a sledování změn koncentrace kyslíku pomocí již instalovaných 12 sond.[3]

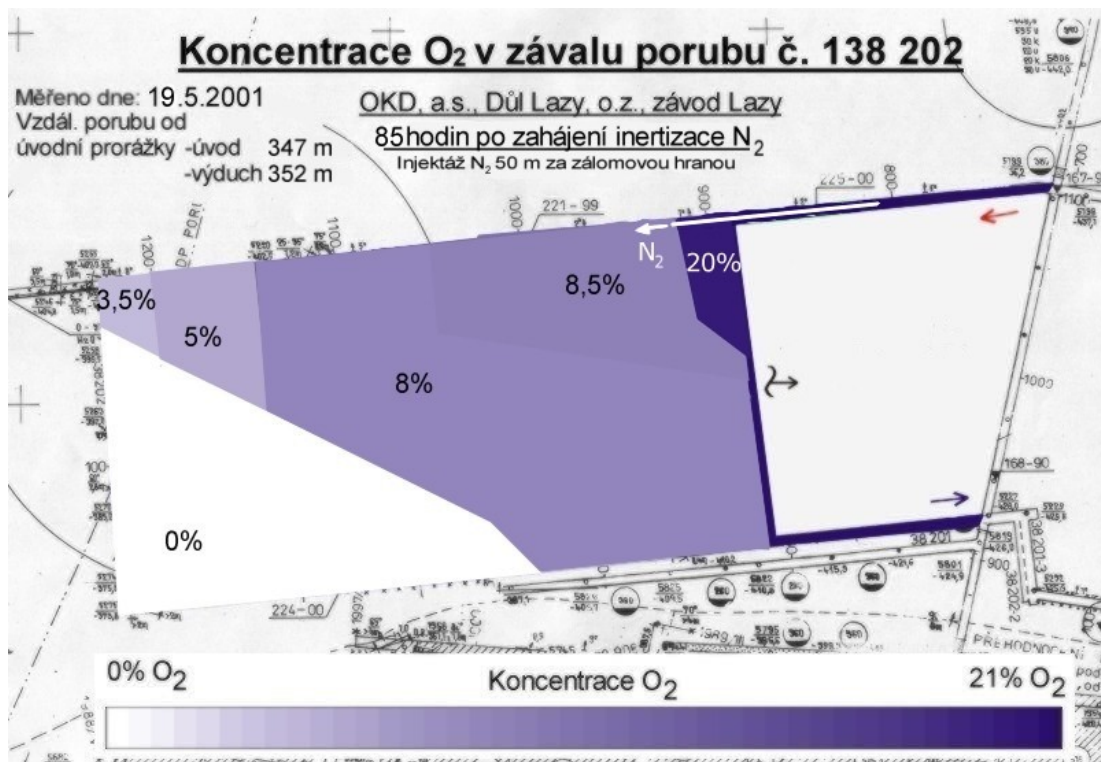
Před započítáním experimentu preventivní inertizace závalového prostoru plynným dusíkem proběhlo ověřování funkčnosti dusíkového potrubí a aparatury pro měření objemového průtoku dusíku. Tyto práce byly zahájeny dne 3. 5. 2001, tedy v časovém předstihu před zahájením inertizace. V průběhu prověřování dusíkového potrubí a měřicí aparatury pro měření objemového průtoku dusíku byl závalový prostor již částečně inertizován plynným dusíkem (cca 500 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>) použitým pro kontrolu dusíkového potrubí, což se projevilo v poklesu kyslíku především na úvodních sondách.[3]

Dne 16. 5. 2001 v 11:45 hod byl zahájen experiment preventivní inertizace plynným dusíkem. Napouštění dusíku bylo započato s objemovým průtokem cca 1000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>. Z počátku byly koncentrace kyslíku úvodních sond měřeny v intervalech 10 až 30 minut po dobu 6 hodin. Téhož dne v době od 19:00 hod. do 20:30 hod. byly ověřeny koncentrace kyslíku na výdušných sondách. Následně byly odběrové sondy pravidelně sledovány každých 12 hodin (střídavě odběr suchých vzorků a měření paramagnetickým kyslíkoměrem), až do ukončení inertizace plynným dusíkem dne 21. 5. 2001 v 8:00 hod. V době od 3. 5. 2001 do 21. 5. 2001 bylo do závalového prostoru injektováno celkem 191 000 m<sup>3</sup> plynného dusíku.[3]

Celkem ve čtyřech případech byla v období přípravných prací potvrzena přítomnost výbušné směsi metanu ve vyrubaném prostoru. V průběhu inertizace závalu plynným dusíkem se výbušná směs v závalovém prostoru nevyskytla.[3]



**Obrázek 13:** Stav atmosféry v závalu porubu před zahájením inertizace plynným dusíkem [3]



**Obrázek 14:** Stav atmosféry v závalu porubu po třech dnech inertizace plynným dusíkem [3]

### 3.2. Inertizace k potlačení záparů v porubu 13 901 závodu ČSA

#### Hlavní parametry porubu 13 901

Výztuž:	Fazos 25/53 a Fazos 17/37 (rozsah 2,6 – 5,5 m)	
Kombajn:	EDH 300LH	
Délka porubu:	150	[m]
Směrná délka:	550	[m]
Mocnost sloje dobývaná:	3,5 – 5,5	[m]

Porub se začal dobývat dne 29. 4. 1996 za použití běžných opatření proti záparové prevence. Patřilo k nim plenění úvodní a výdušné třídy, stavění izohrázek s náběhovými plentami do porubu, plavení závalových prostor popílkovou směsí, utěšňování vrchní části porubu dusíkovou pěnou, preventivní napouštění plynného dusíku do ztraceného potrubí na úvodní třídě, stavba přípravné hráze na výdušné třídě pro případ uzavírání, měření konstantního průtočného množství větrního proudu a odběry vzorků plynů ze závalových prostor.

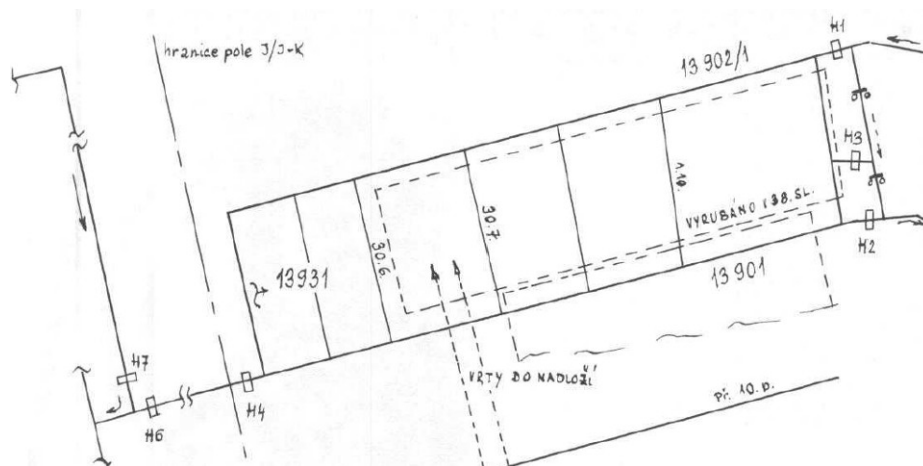
Dobývaný porub postoupil za první tři měsíce o 220 metrů od výchozí prorážky, v nepřetržitém provozu s denním postupem 2,17 metrů. Do závalových prostor se napouštěl plynný dusík objemovým průtokem  $1200 \text{ m}^3 \text{hod}^{-1}$  a z výdušné třídy se stařiny zatápěly vodou. Pro špatné sklonové poměry začalo docházet k zatápění spodní úvratě porubu. Na výdušné třídě byl k vytvoření přetlaku instalován foukací lutnový tah DN 630 mm, který zajišťoval cca  $250 \text{ m}^3 \text{min}^{-1}$  větrů. V porubu byl snížen objemový průtok větrů pro snížení depresního namáhání na  $680 \text{ m}^3 \text{min}^{-1}$ . [4]

Z důvodu opoždování plenění úvodní a výdušné třídy, což mělo za následek průtahy větrního proudu do závalových prostorů porubu, bylo rozhodnuto, že tyto třídy nebudou plněny a hned po překládce sekcí bude provedeno dotěsnění závalu krylaminou. Z téhož důvodu bylo zahájeno plavení popílkové směsi přes vrtky o průměru 93 mm z překopu 10 patra. I přes tato uvedená proti záparová opatření došlo 31. 7. 1996 k nárůstu místní koncentrace CO na vrchní úvrati na 250 ppm a v průchodním výdušném proudu na 30 ppm. Dálkově odebraný vzorek závalových prostor vykázal koncentrace  $\text{CO}_2$  – 2,0 %,  $\text{CH}_4$  – 0,4 %,  $\text{O}_2$  – 10,6 % a CO – 0,225 %.

Byl vyhlášen havarijní stav. Všechny práce v porubu řídil VLH s koordinací HBZS. V porubu byly zahájeny stavby vakových krylaminových těsnících hrázek v celém profilu spodní i vrchní úvratě a bylo zahájeno napouštění dusíkové pěny za tyto objekty. Na výdušné třídě byl zřízen odsávací lutnový tah pro odsávání zplodin samovznícení. Po celé délce porubu byly sekce dotěšňovány vzduchomechanickou pěnou. Přes všechna tato opatření docházelo k nárůstu vývinu CO na 200 ppm ve výdušném větrném proudu a 1200 ppm v závalu.

Dále bylo provedeno navýšení objemu napouštěného plynného dusíku na  $1500 \text{ m}^3 \text{min}^{-1}$  a vrtání dalších 28 plavicích a inertizačních vrtů. Důsledným plavením popílkové

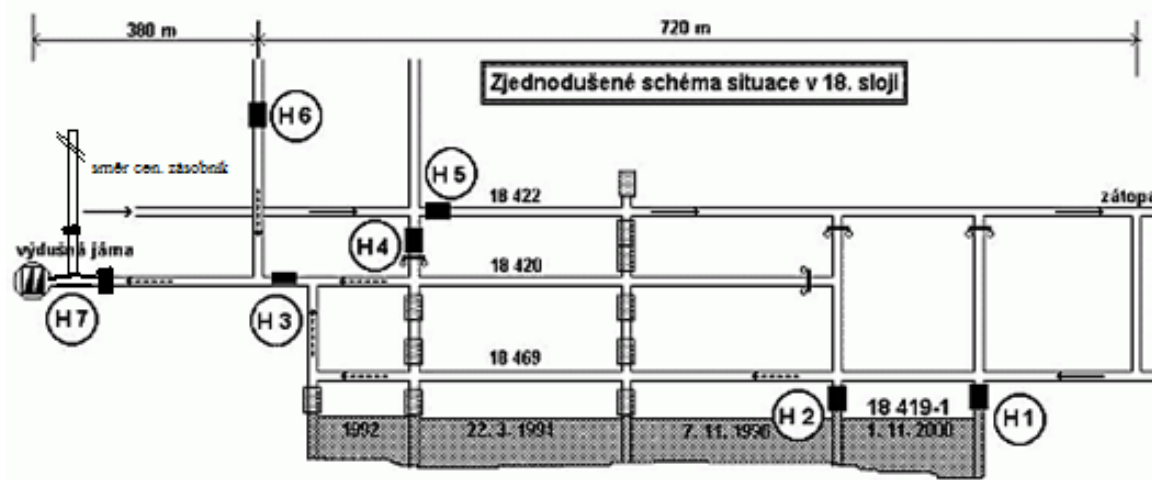
směsi a inertizaci plynným dusíkem dochází v porubu ke snížení CO. Dne 2. 10. 1996 ukončil VLH havarijní stav. Po ukončení havarijního stavu byl porub nadále provozován za přísných protizáparových opatření.[4]



Obrázek 15: Situační schéma porubu 13 901 [4]

### 3.3. Represivní inertizace v porubu 18 419-1 dolu Dukla

Předmětný porub č. 18 419-1 byl dobýván ve 4. kře, 40. sloje. Porub o délce 67 m a mocnosti 3,1 – 4,7 m byl vybaven 45 - ti ks sekci PIOMA. V průběhu celé doby jeho dobývání nebyly zjištěny příznaky samovznícení. Po dokopání, výklizu dobývacího kombajnu a dopravníku a rozšíření manipulačního prostoru pro plenění sekci byl dne 10. 1. 2001 porub výbuchuvzdorně uzavřen sádrovými hrázemi z důvodu, že nový dobývací porubní blok pro přímý překliz sekci nebyl ještě připraven.



Obrázek 16: Situační schéma v 18. sloji [4]

Dne 7. 7. 2002 po předchozí inertizaci byl porub odvětrán a byly provedeny přípravné práce na plenění a přepravě sekcí mechanizované výztuže do nového porubního bloku. Porubem bylo vedeno  $540 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  větrů. Ztraceným potrubím 40 m do závalu na úvodní chodbě a přes vrt do stařin porubu bylo napouštěno  $1\,100 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$  dusíku. V průběhu přípravných prací došlo od 1. 8. 2002 k postupnému nárůstu CO na výdušné chodbě. Ke zlepšení stavu ovzduší v místě plenění byl z výdušné strany porubu instalován odsávací lutnový tah, který odsával prostor za izohrázkou na vrchní úvrati. Při plenění sekcí se koncentrace CO v místě nedokončené hráze H 2 na výdušné straně pohybovaly cca 40 ppm, z odsávacího lutnového tahu do 320 ppm.[4]

Dne 16. 8. 2002 ve II. směně došlo při plenění poslední sekce k prudkému nárůstu CO od porubu až k výdušné jámě. Do 5-ti minut byly hodnoty CO nad rozsah měřicích analyzátorů. Do oblasti byla vyslána četa ZBZS pro zjištění situace, která nachází otevřený oheň v porubu, následně je povolán výjezd HBZS Ostrava.[4]

Po příjezdu HBZS ve 21:55 hod. řáří čtyř pohotovosti do dolu k provedení průzkumu. V porubu bylo zjištěno žhavé ohnisko u stropu asi 6 m ve vyplněném prostoru od úvodní chodby. Na základě zjištěného stavu byly vydány příkazy ke zchlazování ohniska přímým zásahem, dosádování hráze H 2 na výdušné straně z porubu, potažení sekce na úvodní chodbě a zahájení stavby hráze H 1 na úvodní straně. Ve 23:30 hod. bylo hlášeno z dolu, že žhavé ložisko v porubu bylo proudnicemi částečně zchlazeno a vychází jen kouře.[4]

V 00:30 hod. došlo k prohoření hráze H 2 na výdušné straně porubu. S ohledem na změnu stavu při zásahu byl další postup přehodnocen a bylo rozhodnuto neprodleně zahájit práce na uzavření porubu v širším okruhu hrázemi H 3, H 4 a H 5. Výjezdové čety HBZS pokračovaly v tlumení ohniska v porubu z úvodní strany a přímým zásahem likvidace otevřeného ohně před hrází H 2, kde se postupně pro udržení stavu napojovalo až 7 proudnic. Z místa zásahu stékala voda z proudnic po chodbách v množství cca  $1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  do nejnižšího místa pod prorážku č. 18 419, kde byl úsekový čerpací systém. Z hlediska možného zatopení kříže a tím přerušení průchodního větrního proudu o objemovém množství  $1\,600 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  bylo čerpání střezeno záchrannářskou hlídkou. Ze všech dolů OKR bylo ihned povoláno celkem 12 čet a již v 03:00 hod. se první čety dostavily na důl. Prvními četami byly přednostně obsazeny práce na zásecích pro stavbu hráze H 3, kde byla viditelnost v kouřích do 0,5 m, teplota  $40^\circ \text{C}$ , koncentrace  $\text{CH}_4$  – 0,2 % a CO – 2 000 ppm.[4]

Následujícího dne 17. 8. 2002 byly zhotoveny záseky ke stavbě hrází H 4 a H 5 z úvodní strany požářiště. Ke všem hrázím pro širší okruh H 3, H 4 a H 5 se dopravovala sádra. Na hrázi z výdušné strany požářiště H 3 se v dále snižující viditelnosti v kouřích do 0,3 m, zvyšující se teplotě na  $42^\circ \text{C}$  i koncentracích  $\text{CH}_4$  – 0,3 % a CO – 4 000 ppm jen obtížně dařilo provedení záseků a položení průlezových luten. S ohledem na podmínky v zásahu muselo být přistoupeno k častému střídání čet a tím i prodlužování stavby hráze. V páté směně zásahu dne 18. 8. 2002 byly dosádovány hráze H 4 a H 5 a připraveny na uzavření. Tím došlo ke snížení objemu průchodního větrního proudu k požářišti

z původních  $1\,600\text{ m}^3\text{min}^{-1}$  na cca  $600\text{ m}^3\text{min}^{-1}$ . Na hrázi H 3, kde zbývalo dokončit přední pečení cca z jedné třetiny pravého boku se viditelnost snížila až na 0,1 m.[4]

V 14:45 hod. se nepodařilo udržet ohnisko před hrází H 2 u porubu a oheň se přenesl i na výdušnou chodbu směrem k hrázi H 3. Došlo i ke snížení tlaku vody v proudnicích pravděpodobným prohořením těsnění potrubního řádu zokruhovaného po výdušné chodbě. Na hrázi H 3 byla nulová viditelnost, teplota  $62\text{ }^{\circ}\text{C}$  a koncentrace  $\text{CH}_4 - 1,3\%$ ,  $\text{O}_2 - 9\%$ ,  $\text{CO}_2 - 8\%$  a  $\text{CO} - 2,1\%$ . Dehtové zplodiny rychle zanášely vybavení i vystrojení záchranářů. V úsekové čerpací stanici hladina vody zatopila el. motor čerpadla a tím došlo k přerušení čerpání vody.[4]

V 16:00 hod. po zhodnocení situace byly odvolány čtyři, které dosud prováděly tlumení ohnisek požáru na úvodní a na výdušné straně porubu i čtyři od H 3. Hráz H 4 ve zkratu byla uzavřena na poklopech. U H 5 ponechány jen dvě čtyři k uzavření poklopů po průchodu čet od porubu. Všechny ostatní čtyři fýraly na povrch. Byla vypnuta el. energie k ohrožené oblasti a vzduch do dolu. Mimo telefonní stanice k hrázi H 5 a u jámy byly ostatní v dole vypnuty. Na dispečink DPB Paskov byl vydán příkaz připravit se na represi dusíkem z centrálního dusíkového rozvodu s tím, že jen na dolech, kde byly inertizovány poruby s vývinem CO bude dodáváno určené snížené množství. O tomto opatření byly informovány inspekční služby všech dolů. Byl vydán pokyn ke zvýšení dodávky dusíku na  $5\,000\text{ m}^3\text{hod}^{-1}$ , bez zahájení represe s ohledem na to, že byl současně vydán příkaz četě vracející se od porubu k hrázi H 5 k rozpojení dusíkového potrubí 150 mm za hrází. Závodním dolu byla svolána havarijní komise, která až do ukončení celé akce posuzovala dílčí postupy při uzavírání požářiště.[4]

V 18:00 hod. po rozpojení potrubí a uzavření poklopů hráze H 5 byli všichni záchranáři z dolu odvoláni a vydán pokyn k zahájení dusíkové represe. Celková kubatura uzavřeného prostoru k hrázi H 3 činila  $34\,000\text{ m}^3$ . Záchranářské čtyři z dolů OKR byly pro další směny odvolány. Dusíková represe byla zahájena dne 18. 9. 2002 od 18:40 hod. a trvala do 04:40 hod. následujícího dne. Jediné možné místo sledování vývoje požáru bylo prováděno v hodinových intervalech v celkovém výdušném proudu výdušné jámy. I tam byla z důvodu hustého kouře nulová viditelnost. Při množství větrů  $21\,000\text{ m}^3\text{min}^{-1}$  v jámě byly zjišťovány následující hodnoty koncentrace a litrového vývinu CO v návaznosti na množství vypouštěného dusíku[4]:

#### Vývin CO v kanále Hlavního důlního ventilátoru

čas	CO/ppm	CO/litrů	$\text{N}_2\text{ m}^3.\text{hod}^{-1}$
18:30	500	10 500	4 600
19:20	280	5 880	7 000
21:30	90	1 890	8 300
23:30	30	630	8 850
01:30	24	504	8 120
05:30	15	315	6 000
08:30	10	210	4 700



### **Průzkum k hrázi H 3**

Na základě snižujících se koncentrací a litrového vývoje CO ve výdušné jámě bylo rozhodnuto o provedení průzkumu k výdušné hrázi H 3. Příkazem velitele záchranných sborů byla zřízena základna na povrchu v náraží jámy a předsunutá hlídka v náraží na patře. Četa průzkumem u hráze zjistila viditelnost do 1 m a teplotu 60° C. Provedla odběr vzorku, instalovala odběrovou hadičku pro dálkový odběr vzdušin a zastavila vzduch a vodu na potrubí vedoucím za peření hráze k požářišti. Ohledáním bylo zjištěno, že stojky kostry předního peření jsou volné a vše zaneseno dehtem. Při kontrole místa mezi peřeními došlo k náhlému zvratu větrů směrem k požářišti, které bylo způsobeno, jak bylo následně zjištěno změnou provozního bodu hlavního ventilátoru. Na příkaz četaře se četa z průzkumu ihned vrátila k jámě a vyfárala na povrch. Množství dusíku za hráz H 5 bylo navýšeno na 5 200 m<sup>3</sup>hod<sup>-1</sup>. [4]

S ohledem na průzkumem zjištěné skutečnosti u peření hráze H 3 bylo vedoucím likvidace havárie rozhodnuto ustoupit na další širší okruh uzavření požářiště a to až u patrového překopu z úvodní strany hrází H 6 a u výdušné jámy hrází H 7. K možnosti uzavření oblasti v tomto širším okruhu musely být výdušné větry sousedního větrního oddělení převedeny na jiné patro. [4]

### **Uzavření širšího okruhu až u hlavního překopu a u jámy č. 3**

Opět byly povolány záchranné čety z dolů OKR a zahájeny práce na stavbě těchto hrází. Jelikož z některých úsekových čerpacích stanic v dole bylo signalizováno překročení maximálních mezí hladiny vody, byly provedeny četami záchranných do předemtných oblastí průzkumy, jichž se zúčastnili i profesní pracovníci dolu. Průzkumem byl zastaven přívod vzduchu do oblasti požářiště, tak byl opětovně puštěn stlačený vzduch do rozvodu v dole. Byly započaty práce na dotěšňování hrází H 5 a H 4 izoschaumem a stavba hrází H 6 a H 7. Na výdušné hrázi H 7 u jámy byla viditelnost do cca 10 m, teplota 30° C, koncentrace CH<sub>4</sub> – 0,2 % a CO – 250 ppm. K ochraně záchranných při stavbě hráze H 7 byla chodba před hrází k požářišti zatopena v délce 70 m a do výšky 1 m vodou. [4]

Dne 20. 8. 2002, již 11 směnu od zahájení likvidace havárie byla prováděna doprava materiálu pro hráz H 7 a to pomocí skipové klece, bez náraží na patře a přes průlezovou lutnu v plavené hrázi používané k větrání centrálních zásobníků 6. patra, jelikož tyto cesty byly jediným přístupem k hrázi. Po dokončení stavby ohrazujících peření byla hráz H 7 zasádrována v 16:00 hod. Dosádrování hráze H 6 na úvodní straně bylo ukončeno v 19:50 hod. Ve 22:00 hod. bylo na hrázích uzavřením poklopů požářiště výbuchuvzdorně uzavřeno. Čekací doba trvala do 05:30 hod dne 21. 8. 2002, kdy vyhodnocení odebraných vzorků z požářiště vykazovaly nevýbušnou směs. Do požářiště bylo i nadále vypouštěno cca 5 200 m<sup>3</sup>hod<sup>-1</sup> dusíku, který na hrázích tvořil přetlak. Provedenou kontrolou hrází byly zjištěny netěsnosti, a proto ihned započaly práce na jejich dotěšňování. [4]



## Obnovení provozu dolu

Po následném provedení předfárání dolu bylo dne 21. 8. 2002 tj. ve 14 směně od vzniku havárie rozhodnuto o obnovení provozu dolu. Havarijní stav byl ukončen osmý den po požáru dne 24. 8. 2002, když bylo provedeno dotěsnění všech uzavíracích hrází.[4]

### 3.4. Účinnosti inertizace

Preventivní inertizace plynným dusíkem se v OKR uplatňuje od začátku osmdesátých let 20. století. Velkým přínosem byl začátek provozu CDH v roce 1993, který je schopen dodat při represivní inertizaci až  $18\,000\text{ m}^3\text{hod}^{-1}$ , čímž se stala inertizace plynným dusíkem nezbytnou součástí dobývání sedlových slojí v OKR. Dusík se v OKR používá především pro, [7]:

- |  |  |
|--|--|
| ➤ <b>preventivní inertizaci</b>                | cílová koncentrace $\text{O}_2 = 10\%$ |
| ➤ <b>inertizaci k potlačování samovznícení</b> | cílová koncentrace $\text{O}_2 = 5\%$  |
| ➤ <b>represivní inertizaci</b>                 | cílová koncentrace $\text{O}_2 = 0\%$  |

Pro preventivní inertizaci začínáme dusík napouštět do závalových prostor bez předchozích příznaků samovznícení po vydobytí cca 70 metrů od zálomové hrany porubů. Cílem preventivní inertizace je dosažení bezpečné koncentrace kyslíku ve vztahu k samovznícení. Podle dosavadního výzkumu a poznatků praxe v OKR je tato hodnota kyslíku 10 %. Laboratorně bylo ověřeno, že inkubační doba uhlí OKR náchylných k samovznícení se v atmosféře kyslíku  $< 10\%$  prodlužuje a blíží nekonečnu,[8]. K dosažení této koncentrace kyslíku se pro preventivní inertizaci napouští do závalu porubů  $800 - 1300\text{ m}^3\text{hod}^{-1}$  plynného dusíku, podle možností daného dolu.

V případě, kdy koncentrace plynných složek v závale porubů začnou vykazovat hodnoty samovznícení, přechází preventivní inertizace v inertizaci k potlačení samovznícení. V tomto případě je nutno dosáhnout pro likvidaci záparu v exponované části závalu koncentrace nižší než 10 % kyslíku. Ze zkušenosti vyplývá cílová koncentrace kyslíku 3-5 %. Dochází k napouštění minimálně  $1500 - 2500\text{ m}^3\text{hod}^{-1}$ .

V případě represivní inertizace (hašení důlního požáru) se snažíme docílit koncentrace kyslíku v závalových prostorech na 0 %. Z dosavadních zkušeností pro použití dusíku pro účely represivní inertizace v dolech vyplývá, že uzavíraný objem požářiště je vhodné přeplnit plynným dusíkem 1,2 x (pro použití  $\text{CO}_2$  stačí 0.8 x), [7].

V současné době při dobývání sedlových slojí, které jsou vysoce náchylné k samovznícení každý podnik OKR spolehá na preventivní inertizaci. Již při přípravě nových dobývacích bloků zajišťuje ZBZS kladení rozvodu plynného dusíku v potrubí, které by v případě potřeby bylo schopno zajistit dostatečný průtok plynného dusíku při represivní inertizaci. Po zkušenostech havarijního stavu na dole Dukla, kde se projevila nedostačující objemová propustnost dusíkového potrubí, které místo požadovaných  $18\,000$

$\text{m}^3\text{hod}^{-1}$  bylo schopno propustit pouhých  $9\,000\text{ m}^3\text{hod}^{-1}$ . Po ujetí porubu cca 70 metrů od výchozí prorážky začíná pomocí ztraceného dusíkového potrubí preventivní inertizace. V případě, kdy dojde k samovznícení uhelné hmoty v závalových prostorách musíme přistoupit k navýšení průtoku plynného dusíku a začíná inertizace k potlačení záparu.

Ne vždy však musí být inertizace účinná. Musíme vždy počítat, že dobývaný porub může komunikovat se starými důlními díly, nebo dokopanými sousedícími bloky porubů a vlivem rozrušení horského masívu docházet k úniku napouštěného dusíku do těchto stařin nebo přísávání kyslíku. Dalším případem může být neznalost místa samovznícení, protože ne vždy musí být místo výstupu požárních plynů místem ohniska samovznícení. Toto může být v jiné lávce, jiném dobývacím bloku či jiném patře a zplodiny požárních plynů vystupují vlivem rozrušeného horského masívu jinde a inertizace se mine účinkem.

V těchto případech se snažíme toto místo upřesnit a následně aplikovat účinnou inertizaci. K tomuto nám napomáhá napouštění hexafluoridu sírového do závalových prostor, starých dokopaných bloků a následnými odběry vzorků, které se analyzují na chromatografu. Z těchto vzorků můžeme zjistit průtahy větrů starými poruby či uzavřenými patry.

## **4. Technické prostředky inertizace**

### **4.1. Technické prostředky výroby inertních plynů**

Technické prostředky výroby dusíku používaných v OKD prošly dlouhou cestu vývoje, jak jsem již zmínil ve své práci v kapitole o historii inertizace v České republice. V dnešní době využíváme k výrobě dusíku především čtyř základních prostředků. Je to dusík vznikající při výrobě kyslíku v kyslíkárně Arcelor Mittal Ostrava, a.s. (výrobce dusíku MG Odra Gas, s.r.o.), dále pak dusík vyrobený pomocí uhlíkových molekulových sít a polymerových membránových jednotek a v neposlední řadě dusík ze stacionárních odpařovacích stanic. Nejvíce se na dodávce dusíku pro doły OKR podílí výrobce dusíku MG Odra Gas, s.r.o..

### **4.2. Technické prostředky pro transport dusíku**

Transport dusíku k odběrateli je závislý na jeho skupenství. Můžeme dopravovat dusík kapalný a to buď v mobilních cisternách, nebo v kontejnerech používaných pro operativní přepravu kapalného dusíku přímo do dolu. Ve skupenství plynném dusík transportujeme v tlakových láhvích nebo pomocí potrubního řádu přímo od výrobce. V současné době je převážná část objemu spotřebovaného dusíku dodávána centrálním rozvodem dusíku přímo od výrobce dusíku MG Odra Gas, s.r.o. K páteřnímu rozvodu je použito potrubí o průměru 300 mm a následné odbočky jednotlivých dolů mají průměr potrubí 200 mm. Rozvod v dole je projektován podle potřeb daného dolu, při havarijních stavech může být použito k rozvodu dusíku i nitrogenových hadic o průměru 150 mm, které jsou k dispozici na HBZS Ostrava o celkové délce minimálně 2 000 m.

### **4.3. Technické prostředky pro regulaci a měření dusíku v dole**

Správná regulace objemu a průtoků plynného dusíku v potrubním řádu je součástí optimalizace především preventivní inertizace. Zvláště v situacích dnešních dolů, kdy není výjimkou, že velitel likvidace havárie musí řešit současně inertizaci více porubů.[3]

Technické prostředky pro měření objemového průtoku dusíku:

- centrické clony
- rotametry
- turbínové plynoměry
- vírové průtokoměry

#### **4.3.1. Centrické clony**

Princip měření centrickými clonami spočívá ve vyhodnocení tlakového rozdílu vytvořeného clonou při průtoku tekutiny. První poznatky s měřením objemového průtoku plynného dusíku centrickými clonami byly získány ze zkušenosti na dole Darkov 3.

Centrické clony 100/80 obr.č. 17 byly pro měření průtoku dusíku používány v důlním prostředí již od roku 1993 na dvou až třech větvích současně. Byly kontrolovány „U“ trubicemi pracovníky závodní báňské záchranné služby. V jednom případě byl ověřován dálkový přenos měřených tlakových hodnot (snímače MTA Ostrava) na povrch. Centrické clony 100/80 se osvědčily do hodnoty objemového průtoku max.  $1500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  s přesností stanovení hodnoty objemového průtoku do 10 % .[3]



**Obrázek 17:** Centrická clona 100/80 (foto Adamus)

#### 4.3.2. Turbínové plynoměry

Turbínovými plynoměry typu TZ Rombach (J. B. ROMBACH GmbH & Co. KG z Karlsruhe, Německo), byla vybavena povrchová distribuční stanoviště v roce 1993 při spuštění centrálního rozvodu plynného dusíku. Avšak z důvodu častého vzniku mechanických poruch, způsobených nečistotami v potrubí byly na povrchových distribučních uzlech nahrazeny vírovými průtokoměry typu Vortex, japonské firmy Yokogawa. V provozu zůstal jediný turbínový průtokoměr typ TZ 80/G 250 Rombach na přívodu dusíku spojující podzemím důl Darkov 2 se závodem Darkov 3. Průtokoměr byl umístěn na severojižním překopu č. 903, na 9. patře závodu Darkov 3 obr.č. 18. Sloužil pro měření preventivního režimu inertizace důlního závodu. Pro případy represivní inertizace byl plynoměr přemostěn překlenovacím potrubím. Proti nečistotám byl turbínový průtokoměr na vstupní straně chráněn kuličkovým bezpečnostním uzávěrem, používaným v důlní degazaci.[3]



**Obrázek 18:** Turbínový průtokoměr TZ 80/250 Rombach (foto Adamus)

#### 4.3.3. Vírové průtokoměry

Vírové průtokoměry, označované jako průtokoměry „Vortex“ (angl. vortex - vír, víření), neobsahují žádné pohyblivé části. Pracují na principu vyhodnocení četnosti turbulentních vírů, vznikajících střídavě po stranách předmětu zanořeného do protékající tekutiny (tzv. Karmanovy víry- podle maďarského fyzika Karmana). Turbulentní víry, generující vibrace, jsou převedeny piezoelektrickým principem, případně ultrazvukem, na elektrické veličiny (el. napětí, proud, frekvence) a následně upraveny na hodnotu průtokové rychlosti. Vírové průtokové snímače rychlosti jsou využívány v kombinaci s měřením tlaku a teploty k měření objemového průtoku tekutin.[3]



**Obrázek 19:** Měřicí aparatura plynného dusíku firmy Yokogawa na povrchu bývalého závodu Doubrava (foto Adamus)

Stanice je vybavena vírovým rychlostním snímačem typu YF 100, snímačem tlaku YA 53, teplotním čidlem PT 100 a vyhodnocovací jednotkou YFCT (Yokogawa Flow Computing Totalizer).[3]

Pro měření objemového průtoku plynného dusíku pomocí vírových průtokoměrů v podzemí byly ověřeny snímače firmy Trolex. Snímače pracují na vírovém principu. Vzniklé víry přicházejí do prostoru mezi ultrazvukový vysílač a přijímač, kde způsobí změnu frekvence ultrazvukového paprsku. Tato změna se vyhodnocuje elektronickými obvody a upravuje na výstupní elektrický signál (proudový 4 - 20 mA, napěťový 0,4 až 2 V), lineárně odpovídající rychlosti proudění 0,5 až 30 m.s<sup>-1</sup>. Snímače jsou vybaveny programovatelným nastavením charakteristik přístroje, včetně kalibrace. Zobrazovací displej zobrazuje aktuální měřenou hodnotu ve zvolené jednotce a další parametry. Měřicí rozsah je nastavitelný od 0,5 - 5 m.s<sup>-1</sup>, nebo 0,5 - 30 m.s<sup>-1</sup>, s přesností měření +/- 2%, linearitou +/- 1%, provozní teplotou přístroje od -15 °C do + 50 °C v základním provedení.



**Obrázek 20:** Snímače rychlosti proudění a absolutního tlaku firmy Trolex (foto Adamus)

#### **4.4. Inertizace při ražbách**

V současné době při ražbách ve slojích náchylných k samovznícení dbáme především o nasazení co nejvhodnější razící technologie, která zaručuje co nejčistější ražbu bez výlomů nad TH výztuží, které by mohly být zdrojem vzniku ohniska samovznícení, důsledkem nedokonalého větrání. Jestliže však k samovznícení z příčin nedokonalého ovětrání a odvodu tepla z povrchu horniny při oxidaci ve výlomu dojde, musíme zabránit přechodu ohniska do fáze otevřeného endogenního požáru.

**V tomto případě mohou nastat dvě situace, a to:**

- Ohnisko je přístupné z ražené chodby a my můžeme zchlazovat přímým zásahem, výlom dotěsnit a následně inertizovat pomocí dusíku přes instalované potrubí a tím zamezit přístupu kyslíku, který by umožnil opětovné samovznícení horniny.
- Ohnisko není přístupné z ražené chodby a v tomto případě musíme zvolit vhodné dotěsnění manžetou či tzv. chodbovým „ochranným brudníkem“ a následně pomocí vrtů instalovat inertizační potrubí k napouštění dusíku.

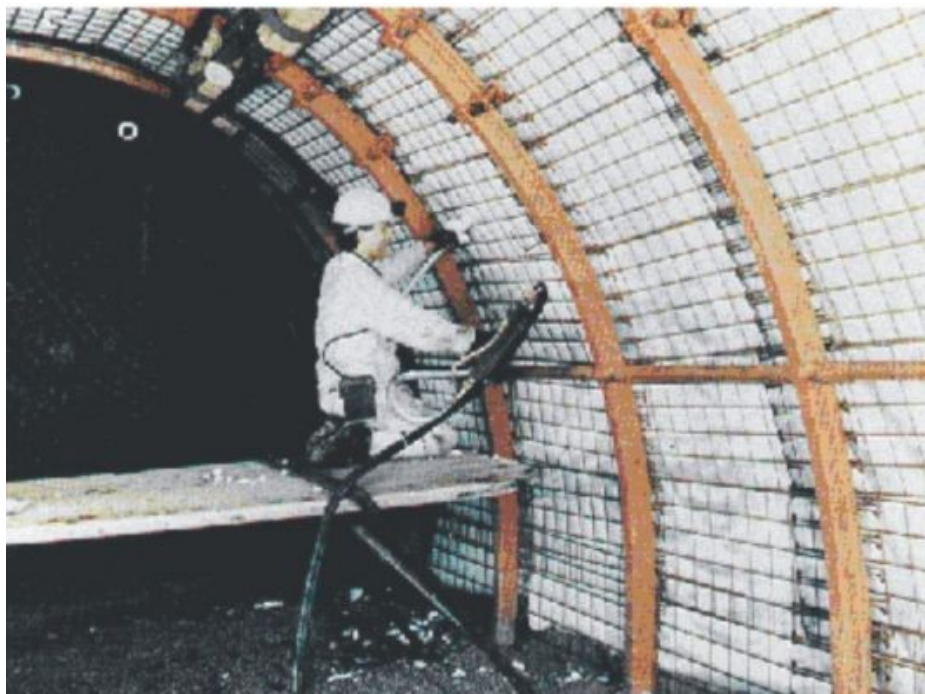
##### **4.4.1. Technické prostředky inertizace při ražbách**

###### **Pažící rohož s návlekm**

Pažící rohože s návlekm, obr.č. 21, slouží k provedení pažení chodbové výztuže (obloukové, lichoběžníkové a jiné). Jsou náhradou za tahokov, tyčovinu, svařovanou mřížovinu nebo betonové pažnice v místech raženého díla, kde je očekáván přechod přes tektonickou poruchu s předpokladem možného záparu, s následným vyplněním volného prostoru za pažící rohoží inertním materiálem nebo dvousložkovou pryskyřicí. V dílech již vyražených je pažící rohož možno na výztuž chodby instalovat z lící strany navazováním



za pomoci vázacího drátu. Tímto způsobem je možno stavět tzv. „ochranné brudníky“ v chodbách ohrožených záparem nebo s nežádoucím průnikem důlní atmosféry, poté vyplnit odpovídající směsí a následně inertizovat dusíkem.



**Obrázek 21:** Pažící rohož s návlekem (foto Minova)

➤ **Vyplňování**

V současnosti se při vyplňování používají speciální materiály na chemické nebo cementové bázi (Krylamina, Ekoflex, Tekblend a jiné) zajišťující dokonalý kontakt výztuže s výlomem resp. s původní výztuží. Nové materiály obvykle několikanásobně zvětšují svůj objem, což je značná výhoda zejména s ohledem na již dlouhé dopravní cesty a omezené pracovní prostory. Použitím těchto materiálů a technologií pro vyplňování volných prostor se tyto práce stávají bezpečnější a umožňují bezproblémové využití sanovaného důlního díla po celou dobu jeho životnosti.

➤ **Nástřik**

Pro nástřik se používají výkonná čerpadla (MB Foam, DNPD Duplex, SK 90 a jiné), obr.č. 22, určená pro injektáže polyuretanových a organicko-minerálních hmot. Používají se pro zpevňující a utěšňující injektáže horninového prostředí, upínání kotevních tyčí lepením, apod. Všechna čerpadla jsou určena pro zpracování injekčních směsí systému Minova s poměrem mísení hmot 1:1. Vzájemně se čerpadla odlišují dosahovanými výkony, maximálním dodávaným množstvím injekčního média a maximálním injekčním tlakem.



**Obrázek 22: Čerpadlo MB Foam (foto Minova)**

#### **4.5. Inertizace při dobývání**

Při dobývání sedlových slojí středních či velkých mocností, které patří ve většině případů do skupiny s vyšší náchylností k samovznícení, musíme dbát na kvalitní proti záparovou prevenci. I v případech, kdy odebrané plynné vzorky ze závalu nesignalizují výskyt oxidu uhelnatého, snažíme se závalové prostory preventivně dotěšňovat a inertizovat plynným dusíkem, který sníží obsah kyslíku v závalu a tím sníží riziko možného samovznícení. V situaci, kdy k záparu v dobývaném porubu dojde, preventivní inertizace přechází v inertizaci účelovou, tj. inertizaci k potlačení samovznícení. Porub se začne dobývat v havarijním režimu a řízení přechází na vedoucího likvidace havárie, který rozhodne o způsobu dobývání a nejúčinnější variantě inertizace.

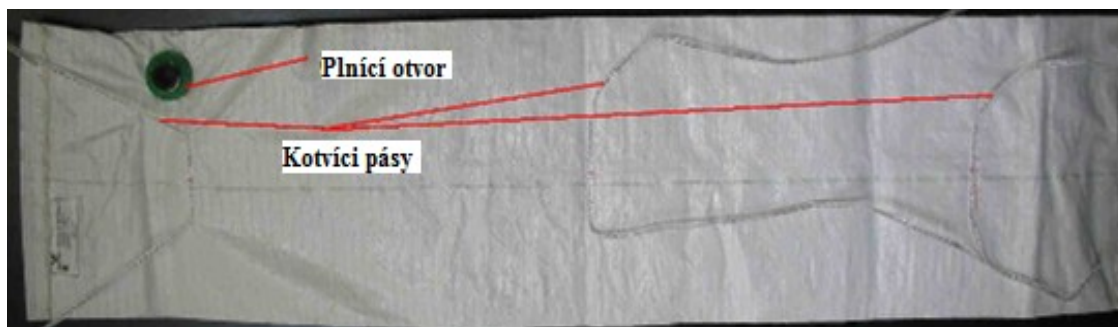
##### **4.5.1. Technické prostředky inertizace dobývání**

Prvotním úkolem při zjištění vývinu oxidu uhelnatého v závalových prostorech dobývaného porubu, který je hlavním příznakem vznikajícího samovznícení, je provést důkladnou indikaci k upřesnění místa ložiska záparu v závalu. Následně musíme navrhnout vhodnou technologii dotěsnění a efektivní inertizaci pro snížení obsahu kyslíku v závalových prostorech.

V současné době se používá k dotěsnění spodní a vrchní úvratě polypropylénových vyplňovacích vaků, obr.č. 23, které se vyplňují fenol formaldehydovou pryskyřicí.



K plnění může být použita řada čerpadel. O následné inertizaci rozhodne vedoucí likvidace havárie. Mezi nejúčinnější v současnosti patří kombinace inertizace plynným dusíkem pomocí ztraceného potrubí v závalovém prostoru z úvodní a výdušné třídy a použití generátoru dusíkové pěny One Seven® MINING 6000.



**Obrázek 23:** Polypropylénový vyplňovací vak (foto autor)

#### 4.5.2. Generátor dusíkové pěny One Seven® MINING 6000

Zařízení One Seven® MINING 6000, obr.č. 24, je určeno k hašení požárů v podzemí za použití pěnidla One Seven třídy A (0,3%). Vytváří dusíkovou pěnu, která se ztraceným potrubím injektuje do závalu, obr.č. 25. Z této pěny se postupně v průběhu času uvolňuje plynný dusík a inertizuje závalový prostor za sekcemi výztuže.



**Obrázek 24:** Generátor ONE Seven ®MINING 6000 (foto autor)



**Obrázek 25:** Injektáž dusíkové pěny One Seven ztraceným potrubím do závalu (foto autor)

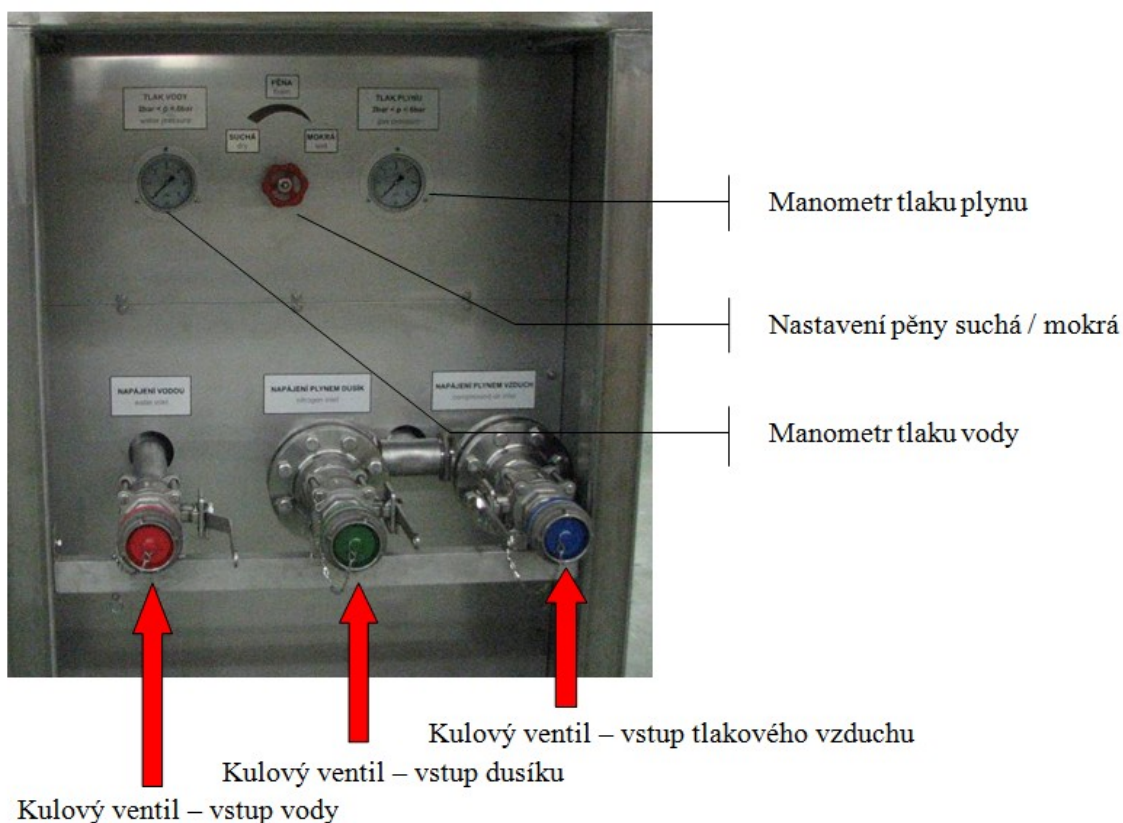
➤ **Technická data pěnogenerátoru One Seven® MINING6000**

Celkové vnější rozměry: .....	2500 x 1000 x 1600 mm
Celková hmotnost bez náplní: .....	1550 kg
Celková hmotnost s náplní: .....	1760 kg
Spotřeba vody: max: .....	300 l. min <sup>-1</sup>
Spotřeba plynu: max: .....	6 000 l. min <sup>-1</sup>
Spotřeba pěnidla: max: .....	0,9 l. min
Směšovací poměr: .....	6 - 26
Maximální produkce pěny.....	6 000 l. min <sup>-1</sup>

➤ **Popis zařízení One Seven® MINING 6000**

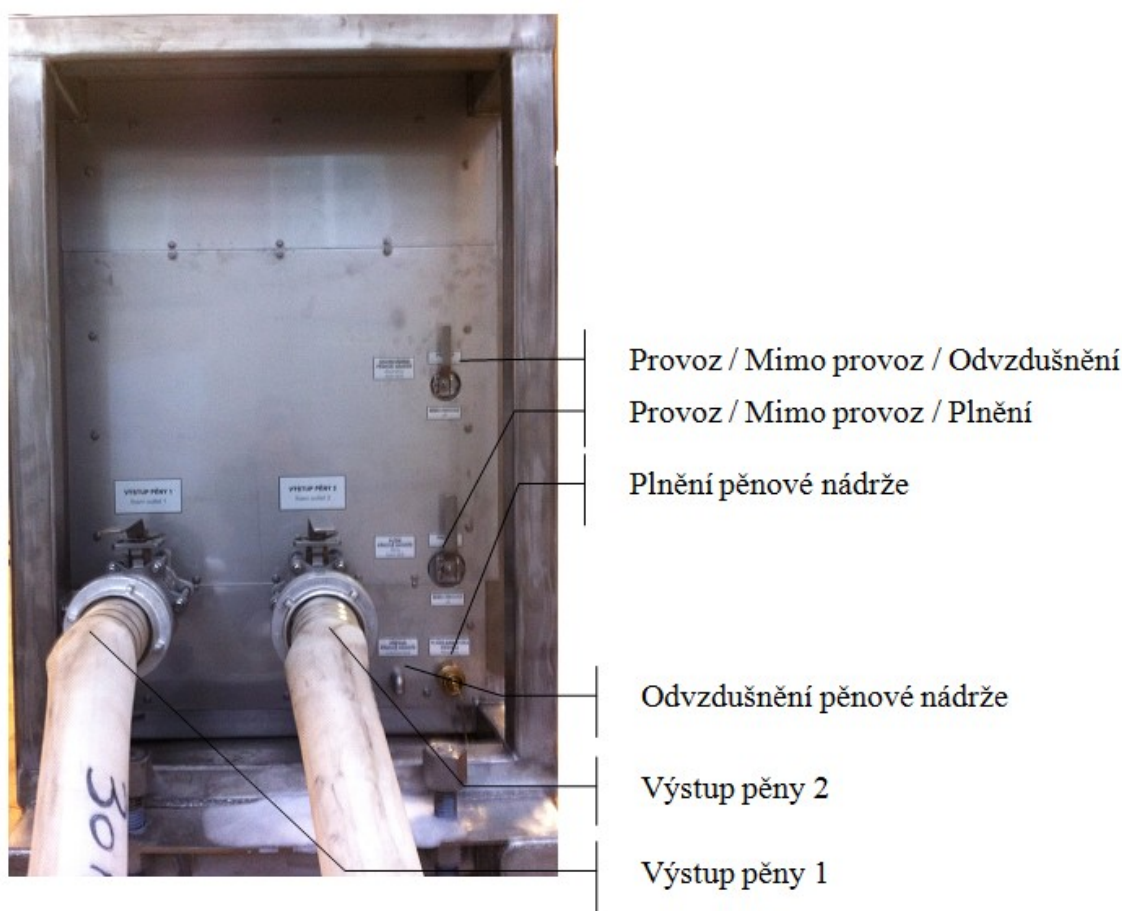
Toto speciálně vyvinuté pěnové hasicí zařízení pro uhelné doly je sestaveno k nepřetržité produkci až 6000 l.min<sup>-1</sup> One Seven pěny. Zařízení vyžaduje použití 0,3% One Seven pěnidla třídy A, což představuje spotřebu pěnidla pouze 0,9 l.min<sup>-1</sup>. Všechny konstrukční prvky a materiály, které se nacházejí v pěnovém hasicím zařízení jsou z nerezové oceli, mosazi a červeného bronzu.

Vlastní proces výroby pěny probíhá bez potřeby elektrické energie. Uvnitř rámu zařízení se nachází 150 l pěnová nádrž z nerezové oceli, směšovací modul, ve kterém se produkuje tlaková pěna smíšením vody, dusíku (popř. vzduchu) a One Seven pěnidla. Pěnové hasicí zařízení One Seven disponuje vlastním vyvažováním tlaku a množství dodávaných médií. Všechna důležitá objemová množství a tlaky jsou pevně nastaveny během kalibrace při uvádění do provozu a nesmí se změnit. Stabilní nerezová pěnová nádrž je konstruována pro nepřetržitou produkci pěny minimálně na 2,5 hodiny.



**Obrázek 26:** Vstupy médií a manometry generátoru One Seven (foto autor)





**Obrázek 27:** Výstupy médií a ovládání generátoru One Seven ( foto autor)

#### 4.6. Inertizace při likvidaci porubů

Při likvidaci a následném výklizu těžební technologie z vydobytého porubu hrozí stejně jako při samotném dobývání vznik samovznícení uhelné hmoty. Po vydobytí porubu je nutno stále závalové prostory inertizovat plyným dusíkem, abychom snížili riziko samovznícení. Následným úkolem je rozebrat a vyklidit dobývací kombajn a stěnový TH dopravník. Poté nastává problém, jakou metodou budou pleněny a vyklizeny z dokopaného porubu sekce mechanizované výztuže. Existuje více řešení tohoto problému. Je na rozhodnutí vedení daného dolu, pro kterou variantu se přikloní z hlediska bezpečnostního a ekonomického.

- Dokopaný porub je možno uzavřít na výdušné třídě, na vtažné třídě zhotovit dusíkové propustě a následně porub i zával inertizovat plyným dusíkem. Plenění a výkliz sekcí pak lze provést v rámci plánovaného nehavarijního zásahu (PNZ) záchranáři ZBZS a HBZS. U této varianty nehrozí nasátí kyslíku do prostoru závalu a vznik samovznícení. Z hlediska bezpečnosti a nákladů je toto však řešení výklizu náročné. Práce v inertním prostředí vyžaduje striktně dodržovat bezpečnostní předpisy pro práci v inertním prostředí a je fyzicky velice náročná.

- Druhou variantou, kterou je možno plenění a následný výkliz mechanizované výztuže provést, je kvalitně dotěsnit dokopaný porub a inertizovat závalové prostory. Na výdušné třídě připravit uzavírací výbuchuvzdornou hráz s průlezovými lutnami, obr.č. 28, a poté postupně plnit výztuž od vrchní úvratě směrem ke spodní. Po vyplnění vždy jedné sekce provést dotěsnění pomocí polypropylénových vyplňovacích vaků, obr.č. 29, které se vyplní fenol formaldehydovou pryskyřicí. Takto pleníme všechny sekce směrem ke spodní úvrati. Rizikem tohoto řešení je možnost přístupu kyslíku do závalových prostor a tím vznik samovznícení. Ekonomicky a bezpečnostně není tato varianta tak náročná jako předchozí.



**Obrázek 28:** Výbuchuvzdorná hráz s průlezovými lutnami (foto autor)



**Obrázek 29:** Dotěsněný prostor po vyplnění sekce (foto autor)

#### 4.7. Inertizace uzavřených porubů

I přes uzavření dokopaných porubů pomocí výbuchuvzdorných hrází, obr.č. 30, nekončí možnost vzniku samovznícení v závalových prostorech těchto porubů. Tyto dokopané poruby často komunikují trhlinami v masivu s vedlejšími těženými bloky, vrchními lávkami nebo díly raženými v těsné blízkosti. Může dojít k přístupu kyslíku do

závalových prostor, následnému samovznícení a nežádoucímu výstupu oxidu uhelnatého do prostor těženého porubů nebo ražeb.



**Obrázek 30:** Výbuchuvzdorná uzavírací hráz (foto autor)

Snahou je při zjištění výstupu oxidu uhelnatého prasklinami ze stařin porubů tyto praskliny dotěsnit a uzavřený porub preventivně inertizovat. Pro tyto účely je každá uzavírací hráz opatřena zásahovým potrubím, kterým je možno napouštět plynný dusík. Dalším možným řešením inertizace stařin sousedícího porubu je navrtání sítě inertizačního potrubí po celé těžní třídě provozovaného porubu do stařin dokopaného porubu a napouštění plynného dusíku těmito vrtů, viz obr.č. 31. Součástí těchto vrtů je analyzní hadička, která umožňuje odběr vzorků pro chromatografický rozbor, nebo napojení na důlní plynovou laboratoř. Z těchto hodnot máme přesné informace o plynných složkách a inertizaci stařin.



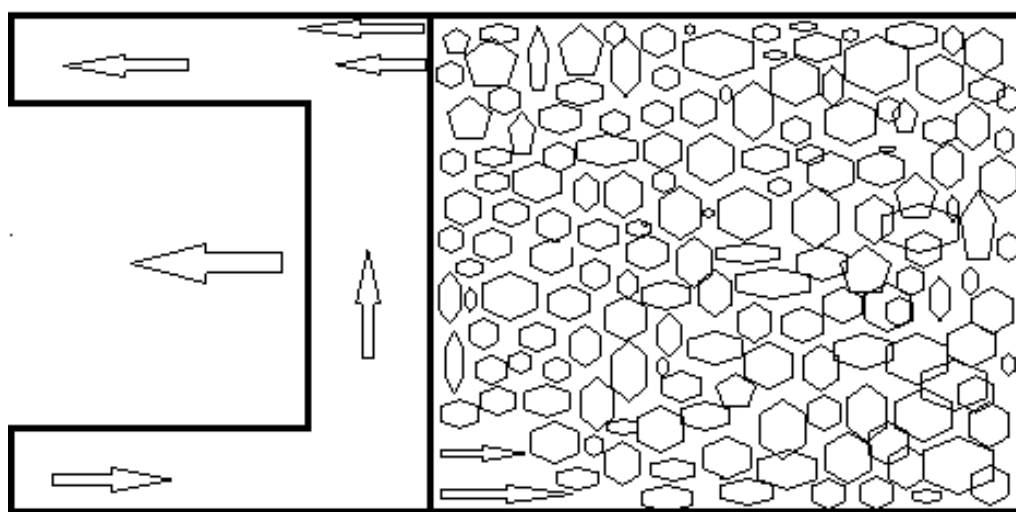
**Obrázek 31:** Inertizační vrt do stařin pro napouštění plynného dusíku ( foto autor)

## 5. Aerodynamika a inertizace závalových prostor

Ztráty větrů přes závalový prostor stěnového porubu způsobují přísun kyslíku k uhlí, které bylo ponecháno v závalových prostorách porubu vlivem nečistého vydobytí. U uhelných slojí náchylných k samovznícení to může mít za následek vznik endogenních požárů v závalových prostorách porubů. Jedním ze současných proti záparových opatření je preventivní inertizace závalových prostor plynným dusíkem, jehož úspěšná aplikace je úzce spojená s omezováním průtahů větrů do závalových prostor. Dotěšňování pomocí polypropylénových vyplňovacích vaků, které se vyplňují fenol formaldehydovou pryskyřicí, napomáhá omezovat provětrávání závalových prostor.

### 5.1. Propustnost závalového prostoru stěnového porubu

Závalový prostor stěnového porubu je vyplněn rozrušenými horninami bezprostředního a přímého nadloží za dobývaným porubem. Půdorys stěnového porubu, větraného průchozím větrným proudem, dobývaného z pole, je uveden na obr.č. 32. Zával porubu vytváří aerodynamický systém a jeho parametry závisí na několika základních faktorech. Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující jeho aerodynamiku je stupeň konsolidace. Se zvětšující se délkou vydobytého prostoru dochází v závalu k postupné konsolidaci zavalených hornin následkem tlaku nadloží, což má za následek zvyšování aerodynamického odporu.[3]



**Obrázek 32:** Schéma proudění vzdušnin stěnovým porubem (autor)

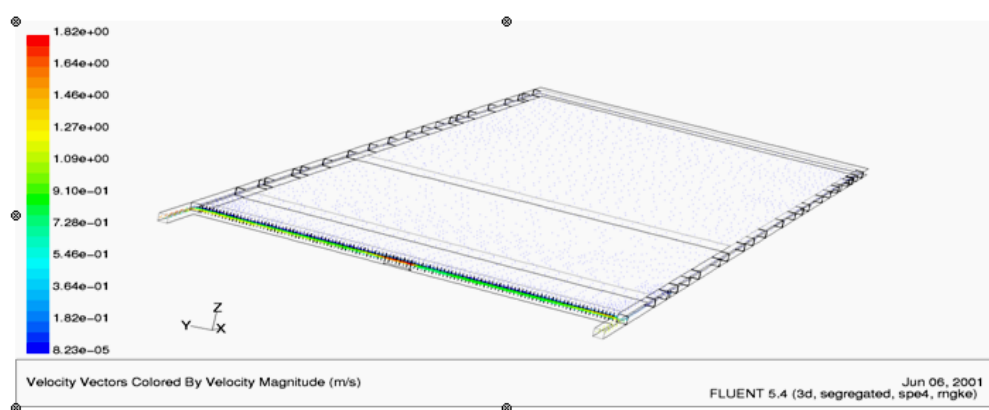
Proudění větrů porubem je vyvoláno tlakovou depresí mezi horní a spodní úvratí porubu. Na spodní úvratí dochází vlivem netěsnosti k pronikání části průchozího větrního proudu do závalu, tedy ke ztrátám větrů závalem. Tyto ztráty lze pro účely důlního provozu zjednodušeně označit jako propustnost závalu vyjádřenou v % ztrát větrů závalem. Tyto ztráty se pohybují v rozmezí 15 až 40% z průchozího větrního proudu porubů, ve výjimečných případech až 60% v závislosti na pevnostních vlastnostech hornin bezprostředního a přímého nadloží, [4].



K modelování aerodynamiky závalu lze v dnešní době použít např. výpočetní program typu CFD (Computational Fluid Dynamic) FLUENT 6.0, obr.č. 33, model porubu č. 138 202 závodu Lazy OKR (viz. kap. 3.1). Jednou z nejdůležitějších vstupních fyzikálních veličin pro modelování aerodynamiky závalového prostoru stěnového porubu v tomto programu je propustnost závalu. Vztah mezi měrným aerodynamickým odporem a propustností je:

$$k = \mu / r$$

kde: k - propustnost [m<sup>2</sup>]  
 $\mu$  - dynamická viskozita [Pa.s]  
r - měrný aerodynamický odpor [N.s.m<sup>-4</sup>]



**Obrázek 33:** Model závalu, výpočetní program typu CFD, FLUENT [3]

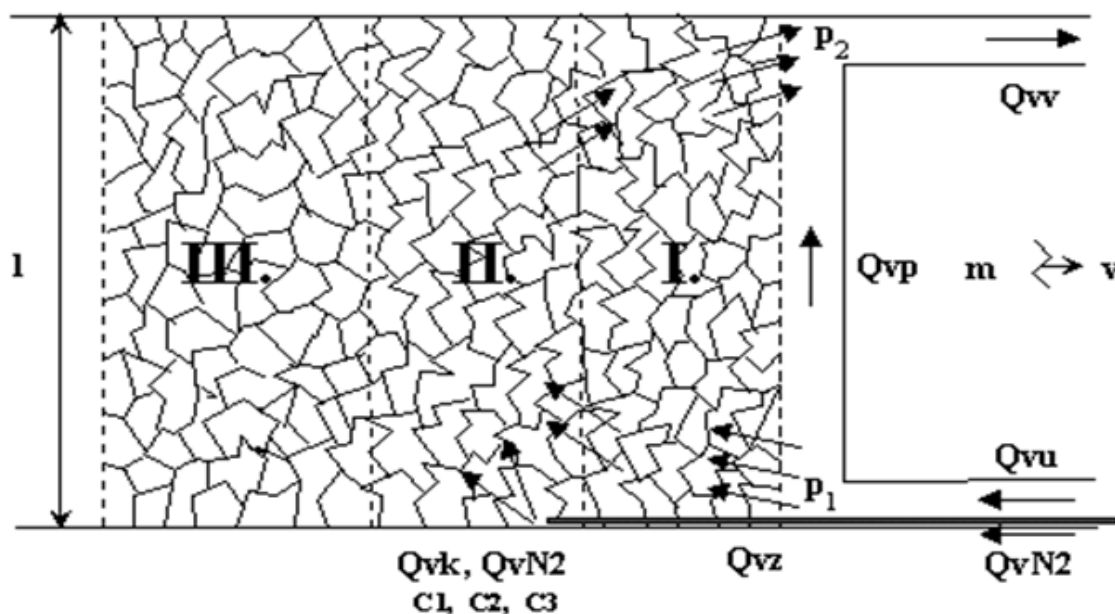
Omezování ztrát větrů závalem účinně napomáhá snížení nebezpečí vzniku samovznícení v závalových prostorech porubu. Jednou z možností omezování ztrát větrů závalem je použití větrních hrázek plněných izopěnou, pravidelně umístěných na zálomové hraně úvodní a výdušné třídy porubu, popřípadě proplavováním závalu popílkovou inertní směsí. Dochází tak ke zmenšení provětrávané hloubky závalu a zvýšení účinnosti inertizace dusíkem. Pro stanovení optimálního bodu vypouštění plynného dusíku do závalu existuje spousta teorií. Praktické zkušenosti a také potvrzené matematické modelování aerodynamiky závalu potvrdilo, že optimální bod vypouštění plynného dusíku pro preventivní inertizaci je cca 70 metrů v závale od zálomové hrany úvodní třídy, rozmezí vzdálenosti za zálomovou hranou je doporučeno 40 – 100 m, [4].

## 5.2. Inertizace závalových prostor porubů

Inertizace závalových prostor je nedílnou součástí dobývání sedlových slojí a slojí náchylných k samovznícení. Jak jsem již zmínil v kapitole (3.4) máme inertizaci preventivní, inertizaci k potlačení samovznícení a inertizaci represivní. V závislosti na plynných složkách v závale navrhne správné řešení inertizace a potřebné množství



dusíku napouštěného ke snížení hodnoty kyslíku v závale. Snahou je vždy docílit co nejčistější vydobytí, kvalitní dotěsnění záválu, které zamezí provětrávání záválu a dosáhnout hodnoty kyslíku v závale blízké se 0 %. Riziko samovznícení nesmíme nikdy podcenit, a proto nejlepším řešením je dobývat sedlové sloje a sloje náchylné k samovznícení v režimu preventivní inertizace. Toto řešení se již z praxe osvědčilo a je využíváno všemi doly OKR.



Obrázek 34: Inertizace stěnového porubu [7]

➤ Výpočet objemového průtoku plynného dusíku preventivní inertizace, [7]:

$$Q_{vN2 \min} = Q_{vu} * k_1 * k_2 * \frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 - C_3)} \quad (1)$$

kde:

- $Q_{vN2}$  - objemový průtok plynného dusíku preventivní inertizace, ( $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ ),
- $Q_{vu}$  - objemový průtok větrů úvodní třídou porubu, ( $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ ),
- $k_1$  - součinitel větrných ztrát porubu závalem, (-), (v OKR 0,15 – 0,45),
- $k_2$  - součinitel větrných ztrát krizické zóny záválu, (-), (zjišťuje se modelováním, cca 0,2),
- $C_1$  - původní koncentrace kyslíku v kritické zóně záválu, před zavedením preventivní inertizace, (%),
- $C_2$  - cílová koncentrace kyslíku v kritické zóně závalového prosotoru, (%),
- $C_3$  - zbytková koncentrace kyslíku v dusíku, (%).

### 5.2.1. Zásady optimalizace preventivní inertizace

Pro stanovení maximálního objemového průtoku plynného dusíku preventivní inertizace s ohledem na dodržení povolené koncentrace kyslíku ve výdušném proudu porubu podle vztahu platí(2), [7]:

$$Q_{VN2} = Q_{VU} \cdot [(\%O_2/\%O_{2p}) - (1 + 0,01 \cdot \%CH_4)] \quad (2)$$

$Q_{VN2}$  maximální objemový průtok injektovaného dusíku, ( $m^3 \min^{-1}$ ),  
 $Q_{VU}$  objemový průtok větrů PVP, ( $m^3 \min^{-1}$ ),  
 $\%O_2$  koncentrace kyslíku úvodního PVP, (% obj.),  
 $\%O_{2p}$  povolená koncentrace  $O_2$  ve výdušném PVP, (% obj.),  
 $\%CH_4$  koncentrace metanu ve výdušném PVP, (% obj.).

#### Další zásady:

- *kritériem optimalizace preventivní inertizace je dosažení plošné koncentrace kyslíku v závalovém prostoru 10 % a nižší,*
- *plynný dusík injektovat 40 - 100 m za zálomovou hranu z úvodní třídy porubu, případně do více bodů podle místních podmínek,*
- *v případech dosažení vysokého stupně utěsnění závalu, např. zapěněním závalu přilehlého k zálomové hraně izopěnou v plném profilu při zastavení postupu porubu, injektovat dusík za těsnicí bariéru,*
- *doporučený objemový průtok plynného dusíku pro preventivní inertizaci pro současné podmínky dobývání v OKR je  $1000 \text{ m}^3 \text{hod}^{-1}$  pro jeden činný porub, případně v rozmezí  $400 - 1200 \text{ m}^3 \text{hod}^{-1}$  podle místních podmínek,*
- *preventivní inertizaci zahájit v činném porubu po odrubání 50 m směrné délky,*
- *minimalizovat depresi porubu aktivními i pasivními prvky regulace větrání porubu,*
- *zvyšovat aerodynamický odpor závalového prostoru pleněním tříd porubu za zálomovou hranou, zapěňováním, náběhovými plentami, izopěnovými hrázkami, (základkou, proplavováním),*
- *využívat možností poskytující úpadní a dovrchní vedení porubní fronty, úpadní vedení porubní fronty způsobuje přirozenou inertizaci závalu přidatnou plynodajností a snižuje koncentrace kyslíku v závalu, dovrchní vedení porubní fronty poskytuje možnost proplavování závalu,*
- *aplikovat plynný dusík s minimální zbytkovou koncentrací kyslíku,*
- *v průběhu provozu preventivní inertizace kontrolovat pravidelně koncentraci kyslíku ve výdušném PVP předmětného porubu,*
- *v době zahájení inertizace a v době zvyšování množství injektovaného dusíku věnovat zvýšenou pozornost složení důlních větrů na výduchu předmětného porubu,*
- *objemový průtok plynného dusíku preventivní inertizace kontrolovat měřením v přívodní větvi potrubního řádu předmětného porubu.*

- *pro kontrolu stavu ovzduší v závalovém prostoru ponechávat v závalu pravidelně rozmístěné odběrové sondy, doporučené rozmístění odběrových sond je každých 50 m na úvodní a výdušné třídě porubu,*
- *režim preventivní inertizace regulovat podle stavu ovzduší v závalu porubu a podle provozních poměrů v porubu, [7].*

### **5.2.2. Možnosti inovace inertizace závalů**

V době, kdy v OKD byly vynaloženy nemalé finanční prostředky do nových dobývacích a razicích technologií v rámci projektu POP 2010 zůstala dle mého názoru automatizace a řízení inertizace závalových prostor stát na mrtvém bodě. Velký pokrok je znatelný v modernizaci a dálkovém řízení distribuční sítě CDH, také ve vývoji nových čerpadel a pěnících hmot, kterými je možno kvalitněji dotěsnit a inertizovat závalové prostory. Avšak finální inertizace na dole po dobu mnoha let nevykázala žádné inovační změny. Stále dochází k potřebné regulaci dusíku mechanickými ventily pracovníky ZBZS bez možnosti dálkového ovládání z centrálního pultu dispečinku a bez zpětné vazby na vývoji plyných složek v závalu.

V rámci inovace inertizace bych vytypoval rizikové poruby pomocí pasportizace slojí náchylných k samovznícení. Současně by mělo dojít k výměně starých mechanických ventilů na páteřních a slojových odbočkách dusíkového potrubí za nové, plně automatizované servo-ventily vybavené průtokoměry a jejich ovládání vyvést pomocí telefonních linek na centrální pult dispečinku. Dále bych instaloval do závalu porubu samostatné odběrové potrubí s odbočkami, kterými by bylo možno kontinuálně monitorovat plyné složky závalového prostoru a z daných výsledků ve zpětné vazbě automaticky z povrchu objemově regulovat dodávky plyného dusíku. Tyto inovace by finančně nebyly v poměru s nákupem nových technologií tak nákladné a přesto by značně zjednodušily a urychlily objemovou regulaci dusíku a tím i zvýšily bezpečnost dolu.

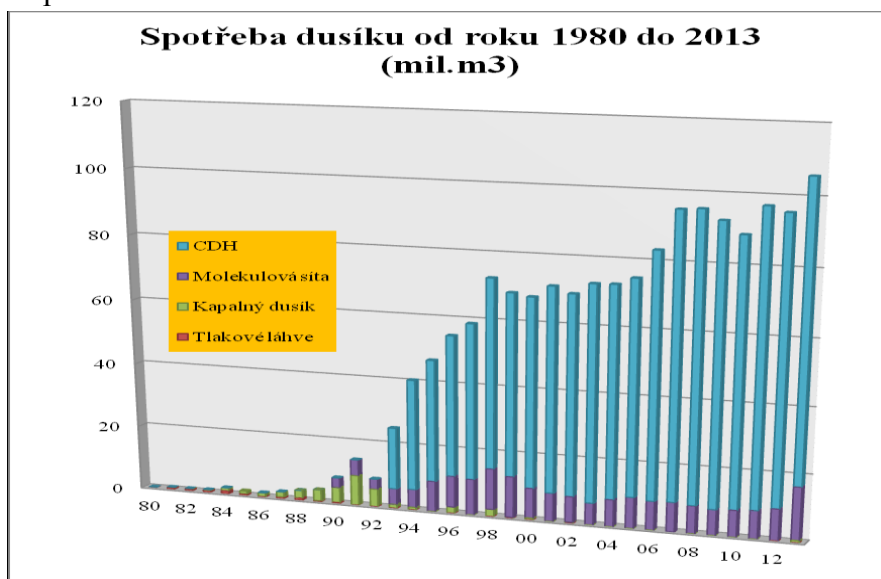
## 6. Ekonomické zhodnocení

V současné době, kdy se majitelé těžebních společností potýkají s finanční krizí a nízkou cenou uhlí je preventivní inertizace jednou ze složek, které navyšují cenu za vydobytou tunu uhlí. Přes to je nezbytnou formou preventivního boje proti samovznícení, které je závažným rizikem ve všech dolech karvinské části OKR, jenž dobývá sedlové sloje náchylné k samovznícení. Naší snahou je tyto náklady na preventivní inertizaci pokud možno snížit na co nejmenší částku. Vývojem nových technologií se snažíme o výrobu dusíku s minimálními náklady na  $1\text{m}^3$  a s co nejmenším obsahem zbytkového kyslíku.

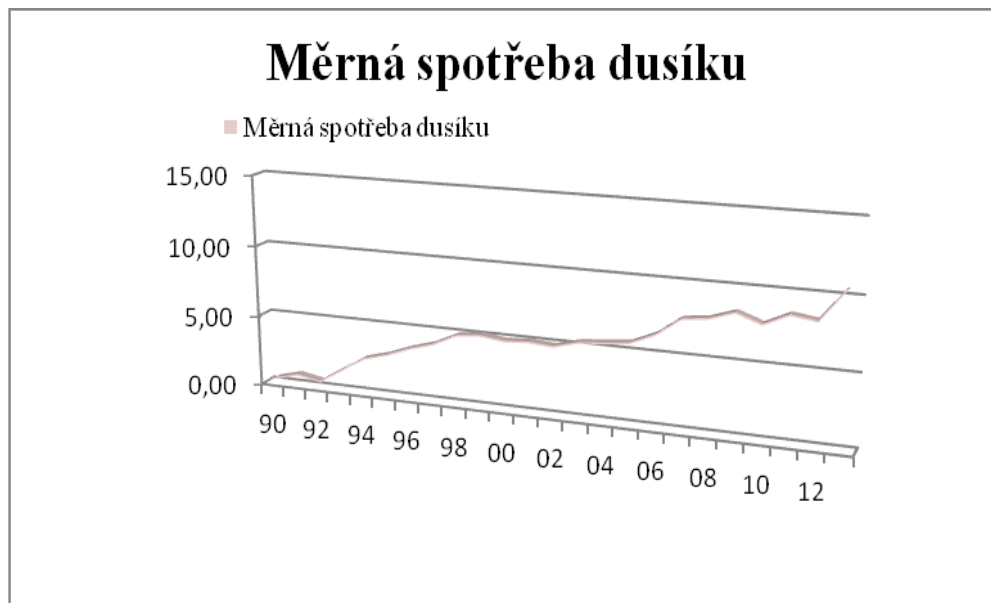
V současné době využíváme čtyři zdroje dusíku, a to dusík z CDH vyrobený kryogenní technologií, z molekulových sít, polymerových membrán a v ojedinělých případech kapalný dusík odpařený přes odpařovače. Každý z těchto uvedených zdrojů má své výhody i nevýhody. Ať je to vysoká cena na výrobu  $1\text{m}^3$  dusíku, nebo vysoký zbytkový obsah kyslíku, nízký provozní tlak či vysoké pořizovací náklady a nákladná údržba. Avšak kombinací všech těchto čtyř možností výroby dusíku získáváme účinný nástroj proti vzniku endogenních požárů.

Zvyšující se trend spotřeby plynného dusíku koncem minulého století viz. graf č. 1 je následkem rostoucího počtu samovznícení v porubech. Doly se daly cestou preventivní inertizace, která se v praxi osvědčila a zabránila fatálním nehodám. V tomto rostoucím trendu se také zvyšovala spotřeba plynného dusíku potřebného na vytěžení 1 tuny uhlí viz. graf č. 2, v roce 2013 to bylo již  $10,3\text{ m}^3$  plynného dusíku na vydobytou 1 tunu uhlí.

Již v úvodu jsem zmínil důlní nehodu, která se stala 18. října 1990 na dole 1. Máj v oblasti 5. dobývací kry, kdy došlo k výbuchu, při kterém zahynulo 30 horníků. Příčinou tohoto výbuchu mohlo být zapálení výbušné směsi obnaženým ohniskem záparu. Od doby, kdy se začaly závalové prostory preventivně inertizovat plynným dusíkem, nebyla zaznamenána žádná závažná důlní nehoda způsobená zapálením výbušné směsi ohniskem záparu. Preventivní inertizace a kvalitní monitoring závalových prostor pozitivně napomáhá bezpečné těžbě.



Graf č. 1 Celková spotřeba dusíku OKD od roku 1980, [4]



Graf č. 2 Měrná spotřeba dusíku v OKD od roku 1990, [4]

### 6.1. Ekonomické zhodnocení preventivní inertizace

Zvyšující se náklady na preventivní inertizaci rostou souměrně s růstem cen za elektrickou energii a cenou nákladů na údržbu technologií. Přesto se tato finanční zátěž určitě vyplatí. Je to investice hlavně do bezpečnosti dolů a tím také do bezpečnosti lidských životů, které jsou finančně nenahraditelné.

Z hlediska těžby uhlí se preventivní inertizace plyným dusíkem během desítek let jeho používání prakticky osvědčila. Jeho použitím se minimalizuje nebezpečí samovznícení, nebezpečí výbuchů a tím i potřeba dobývání uhlí v havarijním režimu, který je finančně i profesně velice náročný. Bez použití plyného dusíku a dalších preventivních opatření proti záparové prevence, by jsme museli každý porub, jenž by ve vzorcích závalových prostor vykázal požární zplodiny prostorově a proti výbuchově uzavřít a čekat na jeho samovolné uhašení. Tato varianta by byla velice nebezpečná, zdlouhavá a hlavně velice ekonomicky náročná, jelikož technologie potřebné pro dobývání uhlí v současné době nebývají majetkem těžaře. Ten za ni platí pronájem, nebo se musí splácet a v době uzavření požářiště vzniká majiteli velká ekonomická ztráta.

### 6.2. Ekonomické zhodnocení výroby dusíku

Převážnou část potřebného množství plyného dusíku pro OKR vyrábí kyslíkarna MG Odra Gas, s.r.o. pomocí kryogenní technologie s možností dodání objemu 11300 m<sup>3</sup>hod<sup>-1</sup> o tlaku 0,4 - 0,5 MPa. V současné době se rozjíždí zkušební provoz nového kompresoru, který by měl navýšit výstupní tlak až na 0,7 MPa. Tato technologie umožňuje výrobu dusíku se zbytkovým objemem kyslíku do 3%. Náklady na 1 m<sup>3</sup> dusíku vyrobený kryogenní technologií firmou MG Odra Gas je cca 1,2 Kč a dále paušální poplatek za provoz CDH firmě Green Gas, který platí všechny doly využívající CDH. Při výpadku

kryogenní výroby je kyslíkárna schopna nahradit tento výpadek výrobou pomocí molekulových sít a polymerových membrán či odpařováním kapalného dusíku z havarijních zásobníků a dodat do CDH požadovaný objem dusíku.

Další technologií výroby dusíku je pomocí uhlíkových molekulových sít. Tato výroba dusíku se vzrůstajícími cenami za elektrickou energii finančně dvojnásobně převyšuje kryogenní výrobu. Náklady na výrobu  $1\text{ m}^3$  dusíku se zbytkovým objemem kyslíku do 3% stojí cca 2,8 Kč. Tyto uhlíkové molekulové síta jsou provozovány na dole ČSM a Darkov 3 bezmála 25 let a jejich objemová účinnost výroby dusíku je již na 50 %, proto bude muset být provedena výměna uhlíkového sorbentu, který bude stát řádově 1,2 mil. za jednotku, což se projeví ve výsledné ceně za výrobu  $1\text{ m}^3$  dusíku.

Finančně náročnější výroba plynného dusíku je pomocí polymerových membrán. Tuto technologii využívá prozatím jen kyslíkárna MG Odra Gas, s.r.o. a nyní ve zkušebním provozu také firma Gascontrol, která zprovoznila jednotku polymerových membrán na dole ČSM. Tato technologie má prozatím problém dosáhnout výrobu plynného dusíku se zbytkovým objemem kyslíku do 3%. Náklady na výrobu  $1\text{ m}^3$  dusíku je cca 3,1 Kč.

Ekonomicky nejnáročnější variantou výroby dusíku je odpařování kapalného dusíku pomocí odpařovačů. Využití kapalného dusíku je pouze výjimečné. Cena se odvíjí od množství odebraného kapalného dusíku, vzdálenosti dopravy dusíku, proto je těžké stanovit náklady na výrobu  $1\text{ m}^3$ , tato cena se mění individuálně od nasazení odpařovačů.

Celkově lze vyjádřit nákladovou zátěž dusíku na vydobytou tunu uhlí odbytové těžby při průměrné ceně  $1\text{ m}^3$  dusíku za cca 1,7 Kč na 0,67 - 0,74 % průměrné odbytové ceny OKR. Tato hodnota je v dnešní době velice pohyblivá a je závislá především na odběratelích koksovatelného uhlí z Rakouska, jelikož ceny uhlí již nejsou stále po dobu celého roku.

Toto necelé procento odbytové ceny vynaložené na preventivní inertizaci, která nám zajišťuje bezpečnost dolu a plynulou těžbu bez potřeby prostorového uzavírání záparových porubů je dle mého názoru opodstatněné a v porovnání s jinými prvky zajišťujícími bezpečnost provozu zanedbatelné.



## 7. Závěr

V dolech při dobývání uhlí téměř vždy dochází k oksylichování uhelné hmoty a to má za následek vznik samovznícení a vzniku požárních plynů v závale, které jsou hrozbou pro důlní pracovníky. Naší snahou musí být těmto stavům předcházet a to tak, že budeme dodržovat zásady kvalitní protizáparové prevence a průběžnou kontrolu závalových vzdušin pomocí plynové chromatografie.

Ve své práci jsem popsal historicky vývoj inertizace v Českém i zahraničním hornictví, charakterizoval plyny vhodné svými fyzikálními vlastnostmi k inertizaci, možnosti jejich výroby, prostředky k jejich monitorování a regulaci. Uvedl jsem praktické příklady preventivní inertizace, inertizace k potlačení záparu i příklad represivní inertizace.

Popsal jsem současné technické prostředky použití inertizace při ražbách, dobývání porubu a při jejich následném vyklizení. Popsal jsem aerodynamiku a propustnost záválu stěnových porubů a jeho kvalitní dotěsnění pomocí polypropylénových vyplňovacích vaků, které se následně vyplňují fenolformaldehydovou pryskyřicí.

V závěru své práce se zabývám ekonomickými aspekty preventivní inertizace plynným dusíkem, ekonomickým zhodnocení výroby plynného dusíku různými technologiemi a porovnávám těžbu stěnových porubu v režimu s preventivní inertizací a bez preventivní inertizace.

Závěrem mé práce je třeba podotknout, že téma mé práce se zabývá bezpečností dolů a ochrany důlních pracovníků před možností výbuchu požárních plynů. Plynný dusík a preventivní inertizace jako taková, vysoce napomáhá ke snížení rizika výbuchu a vzniku samovznícení. Od doby, kdy se začalo s preventivní inertizací stěnových porubů nedošlo v OKR k žádné závažné havárii. Jsem přesvědčen, že náklady spojené s inertizací jsou v OKR oprávněné. Musíme však pamatovat i na negativní stránku dusíku, a to že vytlačuje kyslík. Proto musíme dbát na kontinuální měření koncentrace kyslíku v důlních dílech, ve kterých je pokles kyslíku rizikový pro důlní pracovníky.

### **Použitá literatura:**

1. MAKARIUS, R.: *Memento důlních nehod v českém hornictví*, Montanex, Ostrava 2008, ISBN 978-807225-271-8.
2. JANOVSKEÝ, B., ZIGMUND, J.: *Výbuchový trojúhelník*, Software tool for explosibility evaluation of coal mine atmosphere, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 20, No. 4-6, pp 517-523, 2007.
3. ADAMUS, A.: *Nitrogen Inertization in Mines / Inertizace dusíkem v dolech*. Dvojjazyčná elektronická publikace, 13. editace webových stránek. Dostupné na: [www.vsb.cz/nitrogen](http://www.vsb.cz/nitrogen).
4. Archiv OKD, HBZS, a.s.
5. ADAMUS, A.: Dusík v roce 1949 poprvé v historii hornictví. Záchranář 3. čtvrtletí 2009.
6. FASTER, P., MAKARIUS, R., POŠTA, V. a kol.: *Báňské záchrannářství I*. Montanex, Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-43-4.
7. *Hornická rizika a záchrannářství*. Souhrn podkladů z literatury a legislativy k výukovému předmětu, HGF VŠB-TU, Ostrava, 2013.
8. ADAMUS, A.: Mezní koncentrace kyslíku samovznícení uhlí. Záchranář č. 4, 1994.

## Seznam obrázků:

Obrázek 1: Paroplynový generátor řady GIG (foto HBZS).....	2
Obrázek 2: Schéma zařízení pro výrobu dusíku z roku 1949, [3] .....	5
Obrázek 3: Vlek s tlakovými lahvemi o kapacitě 630 m3 plynného dusíku (foto autor) .....	6
Obrázek 4: Kontejnery na přepravu kapalného dusíku CTK o objemu 2.5, 5.0 a 8.0 m3 (foto autor) .....	6
Obrázek 5: Ležatý přepravní kontejner pro operativní přepravu kapalného dusíku do dolu (foto Adamus) .....	6
Obrázek 6: Výkonný mobilní odpařovač kapalného dusíku typ MOD 200 a mobilní cisterna TN 15 (foto Adamus) .....	7
Obrázek 7: Odpařovací stanice (foto Adamus).....	8
Obrázek 8: Jednotka uhlíkových molekulových sít, typ CMS 600 (foto autor) .....	8
Obrázek 9: Jednotka uhlíkových molekulových sít PSA, typ CMS 900 (foto autor).....	9
Obrázek 10: Schéma Centrálního dusíkového hospodářství OKR [3] .....	10
Obrázek 11: Zásobníky kapalného dusíku o objemu 500 m3 (foto autor) .....	10
Obrázek 12: Schéma rozmístění odběrových sond v porubu č. 138 202 [3] .....	11
Obrázek 13: Stav atmosféry v závalu porubu před zahájením inertizace plynným dusíkem [3].....	13
Obrázek 14: Stav atmosféry v závalu porubu po třech dnech inertizace plynným dusíkem [3].....	13
Obrázek 15: Situační schéma porubu 13 901 [4].....	15
Obrázek 16: Situační schéma v 18. sloji [4] .....	15
Obrázek 17: Centrická clona 100/80 (foto Adamus) .....	22
Obrázek 18: Turbinový průtokoměr TZ 80/250 Rombach (foto Adamus) .....	22
Obrázek 19: Měřicí aparatura plynného dusíku firmy Yokogawa na povrchu bývalého závodu doubrava (foto Adamus).....	23
Obrázek 20: Snímače rychlosti proudění a absolutního tlaku firmy Trolex (foto Adamus).....	24
Obrázek 21: Pažící rohož s návleky (foto Minova) .....	25
Obrázek 22: Čerpadlo MB Foam (foto Minova) .....	26
Obrázek 23: Polypropylenový vyplňovací vak (foto autor) .....	27
Obrázek 24: Generátor ONE Seven ®MINING 6000 (foto autor).....	27
Obrázek 25: Injektáž dusíkové pěny One Seven ztraceným potrubím do závalu (foto autor) .....	28
Obrázek 26: Vstupy médií a manometry generátoru One Seven (foto autor) .....	29
Obrázek 27: Výstupy médií a ovládání generátoru One Seven ( foto autor).....	30
Obrázek 28: Výbuchuvzdorná hráz s průlezovými litnami (foto autor) .....	31
Obrázek 29: Dotěsněný prostor po vyplnění sekce (foto autor) .....	31
Obrázek 30: Výbuchuvzdorná uzavírací hráz (foto autor) .....	32
Obrázek 31: Inertizační vrt do stařin pro napouštění plynného dusíku (foto autor).....	32
Obrázek 32: Schéma proudění vzdušin stěnovým porubem (autor).....	33
Obrázek 33: Model závalu, výpočetní program typu CFD, FLUENT [3].....	34
Obrázek 34: Inertizace stěnového porubu [7].....	35

### **Seznam grafů:**

1. Celková spotřeba dusíku OKD od roku 1980[4].....	37
2. Měrná spotřeba dusíku v OKD od roku 1990[4].....	38

### **Seznam příloh:**

Příloha č. 1. Popis centrálního rozvodu dusíku (CDH)	
--	--